

3

**MATERIAL DO
PROFESSOR**

• **Biologia**

**CIÊNCIAS DA NATUREZA
E SUAS TECNOLOGIAS**



**DOM
BOSCO**
by Pearson

PRÉ-VESTIBULAR
EXTENSIVO



**MATERIAL DO
PROFESSOR**

• **Biologia**

**CIÊNCIAS DA NATUREZA
E SUAS TECNOLOGIAS**

DOM BOSCO - SISTEMA DE ENSINO
PRÉ-VESTIBULAR 3
Ciências da natureza e suas tecnologias.
© 2019 – Pearson Education do Brasil Ltda.

Vice-presidência de Educação	Juliano Melo Costa
Gerência editorial nacional	Alexandre Mattioli
Gerência de produto	Silvana Afonso
Autoria	Ana Carolina Marinho Mota, Fernanda Lowndes, Leandro Magrini
Coordenação editorial	Luiz Molina Luz
Edição de conteúdo	Lauro Tozetto
Assistência de edição	Bunni Costa
Leitura crítica	Rafael Simões, Hannah Hamada, Lorena Milock de Freitas
Preparação e revisão	Igor Debiasi, Adriana Bairrada, Luzia Leite, Renata Coppolla, Elaine Faires
Gerência de Design	Cleber Figueira Carvalho
Coordenação de Design	Diogo Mecabo
Edição de arte	Alexandre Silva
Coordenação de pesquisa e licenciamento	Maiti Salla
Pesquisa e licenciamento	Cristiane Gameiro, Heraldo Colon, Andrea Bolanho, Maricy Queiroz, Sandra Sebastião, Shirlei Sebastião
Ilustrações	Alex Cói, Carla Viana, Dayane Cabral, Madine Oliveira
Projeto Gráfico	Apis design integrado
Diagramação	Editorial 5
Capa	Apis design integrado
Imagem de capa	mvp64/istock
Produtor multimídia	Cristian Neil Zaramella
PCP	George Baldim, Paulo Campos

Todos os direitos desta publicação reservados à
Pearson Education do Brasil Ltda.

Av. Santa Marina, 1193 - Água Branca
São Paulo, SP – CEP 05036-001
Tel. (11) 3521-3500

www.pearson.com.br

APRESENTAÇÃO

Um bom material didático voltado ao vestibular deve ser maior que um grupo de conteúdos a ser memorizado pelos alunos. A sociedade atual exige que nossos jovens, além de dominar conteúdos aprendidos ao longo da Educação Básica, conheçam a diversidade de contextos sociais, tecnológicos, ambientais e políticos. Desenvolver as habilidades a fim de obterem autonomia e entenderem criticamente a realidade e os acontecimentos que os cercam são critérios básicos para se ter sucesso no Ensino Superior.

O Enem e os principais vestibulares do país esperam que o aluno, ao final do Ensino Médio, seja capaz de dominar linguagens e seus códigos; construir argumentações consistentes; selecionar, organizar e interpretar dados para enfrentar situações-problema em diferentes áreas do conhecimento; e compreender fenômenos naturais, processos histórico-geográficos e de produção tecnológica.

O Pré-Vestibular do Sistema de Ensino Dom Bosco sempre se destacou no mercado editorial brasileiro como um material didático completo dentro de seu segmento educacional. A nova edição traz novidades, a fim de atender às sugestões apresentadas pelas escolas parceiras que participaram do Construindo Juntos – que é o programa realizado pela área de Educação da Pearson Brasil, para promover a troca de experiências, o compartilhamento de conhecimento e a participação dos parceiros no desenvolvimento dos materiais didáticos de suas marcas.

Assim, o Pré-Vestibular Extensivo Dom Bosco by Pearson foi elaborado por uma equipe de excelência, respaldada na qualidade acadêmica dos conhecimentos e na prática de sala de aula, abrangendo as quatro áreas de conhecimento com projeto editorial exclusivo e adequado às recentes mudanças educacionais do país.

O novo material envolve temáticas diversas, por meio do diálogo entre os conteúdos dos diferentes componentes curriculares de uma ou mais áreas do conhecimento, com propostas curriculares que contemplem as dimensões do trabalho, da ciência, da tecnologia e da cultura como eixos integradores entre os conhecimentos de distintas naturezas; o trabalho como princípio educativo; a pesquisa como princípio pedagógico; os direitos humanos como princípio norteador; e a sustentabilidade socioambiental como meta universal.

A coleção contempla todos os conteúdos exigidos no Enem e nos vestibulares de todo o país, organizados e estruturados em módulos, com desenvolvimento teórico associado a exemplos e exercícios resolvidos que facilitam a aprendizagem. Soma-se a isso, uma seleção refinada de questões selecionadas, quadro de respostas e roteiro de aula integrado a cada módulo.

SUMÁRIO



5

BIOLOGIA 1A



67

BIOLOGIA 1B



121

BIOLOGIA 2A



169

BIOLOGIA 2B



213

BIOLOGIA 3A



251

BIOLOGIA 3B



BLEND IMAGES / ALAMY STOCK PHOTO

MATERIAL DE ENSINO
SISTEMA DE ENSINO DOMBOSCO

BIOLOGIA 1A

CIÊNCIAS DA NATUREZA E SUAS TECNOLOGIAS



CASOS ESPECIAIS DE MONO-HIBRIDISMO: DOMINÂNCIA INCOMPLETA

- Dominância incompleta
- Outros casos de dominância incompleta

HABILIDADES

- Compreender o conceito de dominância incompleta.
- Entender a funcionalidade da proteína produzida por cada alelo envolvido nesse tipo de padrão de herança.
- Citar novos exemplos desse tipo de padrão de herança.

A condrodisplasia é uma malformação congênita causada pelo incorreto desenvolvimento dos ossos, principalmente os ossos longos. A doença resulta em membros pequenos em virtude da incompleta formação das cartilagens de crescimento. Essa malformação é comum na espécie humana e pode ser classificada como nanismo proporcional ou desproporcional.



Levi Krystosek, 11 anos, um menino com condrodisplasia.

A doença também ocorre em animais como porcos, cães, bovinos e coelhos. Entre os fenótipos de condrodisplasia desproporcional em bovinos, existe o nanismo dos tipos *telemark* e *bulldog*. O primeiro causa membros torcidos e curtos, crânio arredondado, focinho achatado, orelhas pequenas, sendo relacionado à transmissão de um gene recessivo autossômico. O nanismo do tipo *bulldog* resulta em coluna vertebral curta, cabeça grande, focinho curto e vísceras expostas. Está relacionado a um gene de dominância incompleta, que, em homozigose, é letal. Assim, nas ocorrências mais graves da doença, acontece o aborto espontâneo no sétimo mês de gestação.

Os indivíduos com o tipo *bulldog* de nanismo podem apresentar três fenótipos diferentes, condicionados por seus genótipos: caso seja homozigoto dominante, o desenvolvimento embrionário é anormal, e o feto é abortado no sétimo mês; se o genótipo for heterozigoto, o indivíduo apresenta a condrodisplasia desproporcional; se o genótipo for homozigoto recessivo, o animal tem desenvolvimento normal.

Dominância incompleta

Os fenótipos apresentados nos módulos anteriores foram de alelos que têm relação de dominância completa. Ou seja, o alelo dominante apresenta seu fenótipo em dose dupla ou não, enquanto o recessivo tem seu caráter apenas em dose dupla.

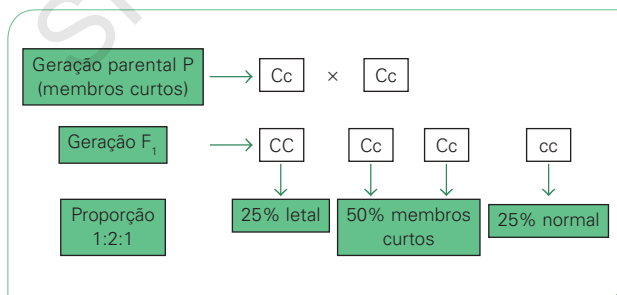
A **dominância incompleta** (também conhecida como **herança sem dominância** ou **intermediária**) é um tipo de ausência de dominância entre os alelos. Nesse caso, um alelo não determina a produção de uma proteína suficiente para a expressão do fenótipo (e, conseqüentemente, de determinada característica) apenas por estar presente. A dominância incompleta ocorre quando o genótipo heterozigoto apresenta um fenótipo intermediário em relação aos fenótipos de dois homozigotos parentais.

Como todo gene é transcrito em RNA (e esse será utilizado como molde na tradução para que uma proteína seja produzida), no caso da dominância incompleta, durante a tradução, um alelo geralmente produz uma proteína funcional, enquanto o outro produz uma proteína não funcional. Como conseqüência, o fenótipo intermediário é gerado como uma mistura de um e de outro.

Na dominância incompleta, durante o processo de tradução, um dos alelos produz uma proteína funcional, enquanto o outro produz uma proteína não funcional.

No caso da condrodisplasia bovina, o alelo **C** promove desenvolvimento completo da cartilagem de crescimento, o que resulta em membros normais. Já o alelo **c** não funcional não auxilia no desenvolvimento completo da cartilagem, de modo que, em indivíduos heterozigotos, apenas um alelo é funcional. Isso reduz pela metade o desenvolvimento normal do animal e gera bovinos com membros curtos.

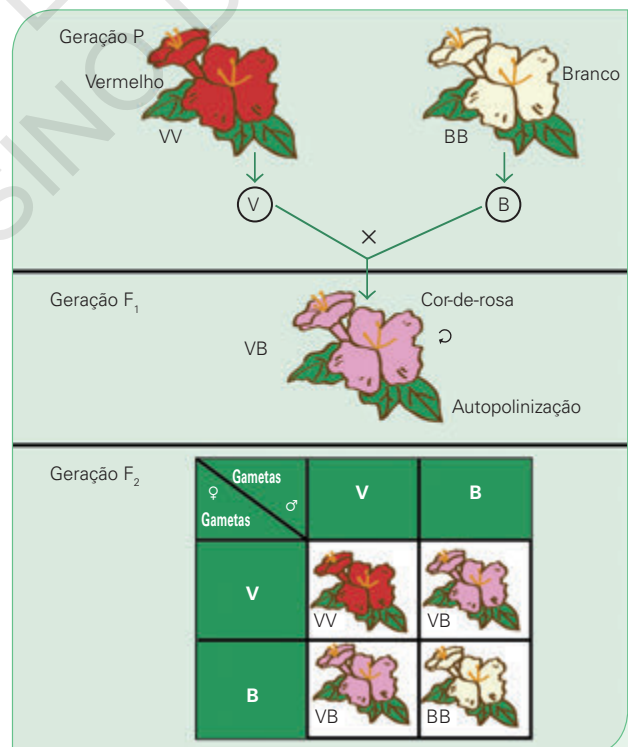
Quando um gado tem o genótipo **CC**, apresenta fenótipo letal, e o feto é abortado em razão de graves alterações embrionárias. Se o animal tiver genótipo **Cc**, apresenta condrodisplasia do tipo *bulldog* (membros curtos). Por outro lado, quando apresenta o genótipo **cc**, o indivíduo é normal. No cruzamento entre indivíduos de membros curtos (**Cc**), 25% da prole está em condição grave (genótipo **CC**), 50% apresentam membros curtos (**Cc**) e 25% são normais (**cc**).



Outro caso clássico de dominância incompleta é o do par de alelos que determina a cor das pétalas da flor maravilha (*Mirabilis* sp.). Nessa espécie, flores que apresentam pétalas brancas (genótipo **BB**) produzem uma proteína não funcional no lugar de uma proteína responsável pela pigmentação. Por sua vez, flores de pétalas vermelhas (genótipo **VV**) apresentam o alelo **V** e produzem uma proteína funcional responsável pela pigmentação.

Quando as linhagens puras de plantas com pétalas brancas são cruzadas com as de pétalas vermelhas, a geração F₁ é formada 100% por pétalas rosa (genótipo **VB**), um **fenótipo intermediário**. Nos indivíduos heterozigotos (**VB**), há apenas uma dose da proteína funcional de cor vermelha e uma dose da proteína não funcional.

Quando a geração F₁ é autofecundada, a geração F₂ apresenta 25% das flores com pétalas vermelhas (genótipo **VV**), 50% com pétalas rosa (genótipo **VB**) e 25% com pétalas brancas (genótipo **BB**). Assim, a proporção fenotípica é 1/4 vermelha, 1/2 rosa e 1/4 branca. Já a proporção genotípica é 1/4 **VV**, 1/2 **VB** e 1/4 **BB**. Dessa forma, na dominância incompleta, as proporções fenotípicas e genotípicas são sempre iguais (1:2:1).



Representação esquemática das proporções genotípicas e fenotípicas da cor das pétalas da flor maravilha (*Mirabilis* sp.). Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Outros casos de dominância incompleta

Na dominância completa, são utilizadas letras maiúsculas para alelos dominantes e minúsculas para

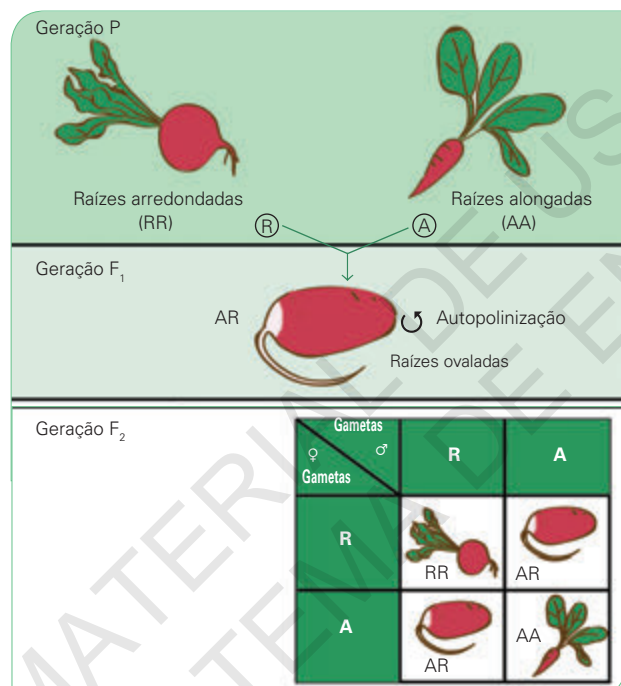
alelos recessivos. No entanto, para dominância incompleta, a maioria dos autores opta por usar apenas letras maiúsculas, visto que a regra de dominância apenas pela presença de um alelo sobrepujando o outro não se aplica. Outra forma de representação de genótipos de dominância incompleta é a combinação de letras maiúsculas e minúsculas.

Vejam os exemplos a seguir casos distintos de dominância incompleta e as representações genotípicas mencionadas.

RABANETES LONGOS, REDONDOS OU OVAIS

Os rabanetes podem apresentar três formatos radiculares diferentes, cada um determinado por um par de alelos: raízes arredondadas (gene **RR**), ovaladas (**AR**) ou alongadas (**AA**).

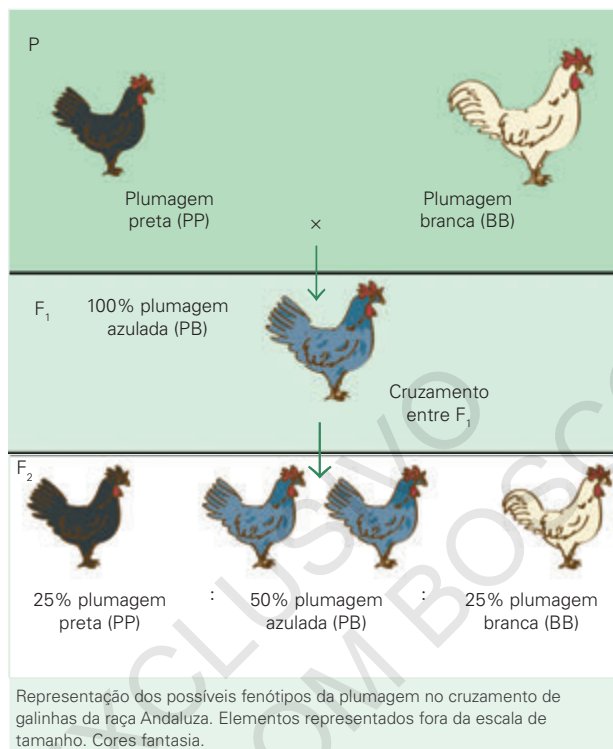
Se plantas de raízes alongadas (**AA**) forem cruzadas com plantas de raízes arredondadas (**RR**), 100% da geração F_1 apresentará raízes ovaladas. A geração F_1 , ao ser autofecundada, gera 25% de plantas com raízes arredondadas, 50% ovaladas e 25% alongadas. Dessa forma, mais uma vez temos a proporção de 1:2:1, característica da dominância incompleta.



Esquema dos possíveis fenótipos dos rabanetes de herança de dominância incompleta. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

GALINHAS ANDALUZAS

Nessa raça de galinha, o cruzamento entre um galo com penas pretas (genótipo **PP**) e uma galinha com penas brancas (**BB**) produz 100% da geração F_1 com penas cinza-azuladas (genótipo **PB**), um fenótipo intermediário. Cruzando-se indivíduos com penas cinza-azuladas, a geração F_2 será de 25% com penas pretas, 50% com penas cinza-azuladas e 25% com penas brancas.



Outra forma de representar os genótipos das galinhas andaluzas combina letras maiúsculas e minúsculas. Nesse caso, o gene das plumagens pode ser representado pela letra **P**, de modo que os indivíduos de plumagem preta são expressos por **PpPp**; os de plumagem branca, por **PpPb**; e os de plumagem cinza-azulada, por **PpPb**.

CAVALOS COM MANCHAS "TIPO LEOPARDO"

Nos Estados Unidos, há uma raça de cavalos chamada Appaloosa, muito apreciada pelos nativos norte-americanos. Esses animais advêm do cruzamento entre cavalos de origem europeia e fizeram surgir uma diversidade de raças ainda existentes. Os cavalos dessa linhagem apresentam diferentes tipos de pelagem (alazão, alazão-tostado, baia de alazão, palomino, baio, preto, zaina, castanho, tordilho, rosilho ou lobuno). Vale destacar que existem variações na pelagem, o que resulta em padrões diferenciados e especiais.

Quando se cruzam cavalos brancos com muitas manchas escuras (genótipo **LL**) com cavalos completamente brancos (genótipo **ll**), nasce uma prole F_1 100% de pelagem branca com poucas manchas (genótipo **Ll**). Esse é um fenótipo intermediário denominado "tipo leopardo", em decorrência do padrão característico de manchas. Ele representa uma dessas variações na pelagem de cavalos Appaloosa. Ao cruzar indivíduos heterozigotos (**Ll**) que apresentam pelagem branca com poucas manchas, 25% da geração F_2 tem pelagem branca com muitas manchas, 50% apresentam pelagem branca com poucas manchas (tipo leopardo) e 25% têm pelagem completamente branca, sem manchas.

UK FARMS / ALAMY STOCK PHOTO



Cavalo Appaloosa com pelagem “tipo leopardo”, gerado pela dominância incompleta entre os alelos responsáveis pela coloração do pelo.

LEITURA COMPLEMENTAR

Galinhas de “pescoço pelado” e termorregulação

Em ambientes muito quentes, como nas regiões tropicais, as aves em geral apresentam aumento da frequência respiratória, na tentativa de regular a temperatura corporal com a do ambiente.

Entretanto, existem diversos genes ligados à resistência ao estresse térmico. Entre eles, a do “pescoço pelado”, controlada pelo gene *Naked neck*, que regula a cobertura de penas no corpo das aves.

O gene do pescoço pelado (**Na**) reduz as penas na cabeça e no pescoço do animal, além de diminuir a plumagem nas laterais do peito e em outras áreas do corpo. Esse gene é de herança do tipo dominância incompleta. Dessa maneira, as aves de plumagem normal têm genótipo (**nana**); as que apresentam redução de cerca de 20%-40% da plumagem têm genótipo (**Nana**); e as aves de genótipo **NaNa** podem ter redução de até 80% da cobertura de penas.

Quando indivíduos com genótipo **Nana** cruzam entre si, a proporção da prole é de 1 indivíduo normal, 2 com pescoço com pelagem reduzida e 1 com pouca (ou nenhuma) plumagem.



BASHIR OSMAN'S PHOTOGRAPHY/
GETTY IMAGES

MATERIAL DE ESTUDO
SISTEMA DE ENSINO

ROTEIRO DE AULA

CASOS ESPECIAIS DE MONO-HIBRIDISMO: DOMINÂNCIA INCOMPLETA

Padrão de herança em que ocorre:

ausência de dominância entre alelos

Geração F_1 formada pelo fenótipo:

intermediário

Geração F_2 (autocruzamento dos indivíduos da F_1)

Proporções genotípicas

1:2:1

Casos clássicos

Flor maravilha

Galinha andaluza

Raízes de rabanetes

Bovinos com condrodysplasia

Cavalos Appaloosa com pelagem "tipo leopardo"

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. Unimontes-MG (adaptada) – Os padrões de herança no homem estão em conformidade com os mesmos princípios genéticos de outros animais e plantas. Cerca de 200 traços hereditários são transmitidos de geração em geração em humanos e incluem traços dominantes e recessivos. Assinale a alternativa que se refere a uma dominância incompleta.

- a) Alelo que possui o potencial de causar a morte do organismo.
- b) Traços que ocorrem somente em um dos dois sexos.
- c) Traço dominante se expressa, e sobrepuja o outro, pois o indivíduo carrega ao menos um alelo dominante.
- d) Heterozigoto com fenótipo intermediário entre os dois homozigotos.

A alternativa A está incorreta, porque se refere a um alelo letal. A alternativa B está incorreta, pois se refere a heranças relacionadas ao sexo. A alternativa C está incorreta, porque essa é uma característica de dominância completa.

2. Unicentro-PR – Dominância incompleta ou semidominância ocorre quando alelos em heterozigose promovem efeitos diferentes no fenótipo em relação ao estado de homozigose. Em plantas maravilhas, os genótipos abaixo influenciam nos seguintes fenótipos:

BB = flores vermelhas

bb = flores brancas

Bb = flores rosa

Em cruzamento entre uma maravilha vermelha e uma branca, nasceu em F_1 90 maravilhas rosa. Qual a porcentagem de indivíduos da cor vermelha ocorrerá se autofecundarmos duas maravilhas da F_2 ?

- a) 50%
- b) 25%
- c) 100%
- d) 0%
- e) 75%

Como as plantas F_1 são rosa, o genótipo delas é Bb. Ao cruzarmos $Bb \times Bb$, teremos 25% BB, 50% Bb e 25% bb. Como BB apresenta fenótipo vermelho, a resposta é 25%.

3. Sistema Dom Bosco – Existem variações de padrões de pelagem em cavalos que apresentam dominância incompleta, como é o caso dos cavalos com pelagem “tipo leopardo”, os quais são brancos com algumas manchas. Eles são originados do cruzamento entre cavalos que apresentam muitas manchas na pelagem branca e cavalos completamente brancos, apresentando um fenótipo intermediário. Com base nessas informações e em seus conhecimentos, calcule a probabilidade de nascerem cavalos com pelagem “tipo leopardo” de pais que apresentam o mesmo fenótipo.

Supondo que indivíduos completamente brancos têm genótipo BB e

indivíduos brancos com muitas manchas, genótipo MM, automaticamente, indivíduos com o fenótipo intermediário terão genótipo BM. Ao

cruzarmos indivíduos com fenótipo intermediário (BM \times BM), a prole

apresentará a seguinte proporção: $\frac{1}{4}$ BB (indivíduos completamente

brancos); $\frac{1}{2}$ BM (indivíduos brancos com poucas manchas); $\frac{1}{4}$ MM

(indivíduos brancos com muitas manchas). Portanto, a probabilidade de

nascerem indivíduos brancos com poucas manchas a partir de parentais

que apresentam o mesmo fenótipo é de 50%.

4. Unicentro-PR – Com relação à interação entre alelos de um mesmo gene, a dominância incompleta é

- a) o fenômeno de um gene condicionar ou influenciar mais de uma característica no indivíduo.
- b) o fenômeno em que um alelo em um locus pode mascarar a expressão de um alelo de outro loco, que atua sobre o mesmo caráter.
- c) o fenômeno no qual ambos os membros de um par de alelos se expressam no indivíduo heterozigótico, contribuindo para o fenótipo.
- d) a condição na qual os indivíduos heterozigóticos apresentam o fenótipo idêntico a um dos homozigóticos.
- e) a condição em que indivíduos heterozigóticos, apresentam o fenótipo intermediário entre os fenótipos dos dois homozigotos.

A alternativa A está incorreta, porque se refere à pleiotropia. A alternativa B está incorreta, pois se refere à epistasia. A alternativa C está incorreta, porque se refere à codominância. A alternativa D está incorreta, pois se refere à dominância completa.

5. UPF-RS (adaptada) – Considere as afirmativas abaixo sobre as possíveis interações entre alelos de um mesmo gene, assinalando com V as verdadeiras e com F as falsas.

- () Dominância incompleta é o termo utilizado para descrever situações em que os indivíduos heterozigotos apresentam fenótipo intermediário entre os fenótipos dos parentais homozigotos.
- () Quando o fenótipo dos indivíduos heterozigotos for igual ao fenótipo de um dos parentais homozigotos, esse tipo de interação alélica é denominado dominância completa.
- () A proporção dos fenótipos e genótipos na dominância incompleta são diferentes.
- () Na dominância incompleta, ambos os alelos produzem proteínas funcionais.

A sequência correta de preenchimento dos parênteses, de cima para baixo, é:

- a) V – V – V – V
- b) V – V – F – V
- c) V – F – F – V
- d) V – V – F – F
- e) V – F – V – F

A proporção de fenótipos e genótipos na dominância incompleta é igual (1:2:1). Na dominância incompleta, um alelo produz uma proteína funcional e o outro, uma proteína não funcional, o que origina um fenótipo intermediário dos parentais homozigotos.

6. Sistema Dom Bosco

C4-H13

As galinhas erminettes apresentam plumagem branca, salpicada de preto. Um cruzamento entre erminettes produziu ao todo 48 indivíduos, sendo: 14 pretas, 22 erminettes e 12 brancas puras. Que base genética é sugerida para o padrão erminette? Justifique sua resposta.

Dominância incompleta. As galinhas erminettes apresentam fenótipo intermediário, e a proporção resultante do cruzamento entre elas é 1:2:1.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Reconhecer mecanismos de transmissão da vida, prevenir ou explicando a manifestação de características dos seres vivos.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. UFU-MG (adaptada) – Em relação aos graus de dominância em genética, são feitas as seguintes afirmativas:

- I. No cruzamento entre ervilhas amarelas e verdes, a geração F1 apresenta cor amarela devido à total dominância do alelo responsável pela cor amarela sobre o alelo responsável pela cor verde.
- II. No cruzamento entre flores maravilhas vermelhas e brancas, todos os indivíduos da geração F1 são rosa. O intercruzamento dos híbridos F1 produz uma descendência F2 com proporção fenotípica de três vermelhas para uma branca, clássico exemplo de dominância incompleta.
- III. As galinhas andaluzas são um exemplo de dominância completa, pois o heterozigoto apresenta fenotipo intermediário em relação aos homozigotos, isto é, os heterozigotos possuem plumagem azulada enquanto os homozigotos são pretos ou brancos.
- IV. A proporção encontrada de genótipos com dominância incompleta é de 1:2:1.

Assinale a alternativa que apresenta apenas afirmativas corretas:

- a) apenas I
- b) I e IV
- c) II e IV
- d) II e III

8. Uece – A fração que representa a heterozigose no cruzamento entre mono-híbridos do modelo mendeliando é:

- a) 2/4
- b) 3/4
- c) 1/8
- d) 1/4

9. IFRS – Na planta boca-de-leão (*Antirrhinum majus*), a cor das flores é determinada por um par de alelos com dominância incompleta. Indivíduos homozigóticos para os alelos $F^V F^V$ possuem flores vermelhas e os homozigóticos para os alelos $F^B F^B$ possuem flores brancas, porém os heterozigóticos $F^V F^B$ produzem flores cor-de-rosa. A proporção fenotípica dos descendentes a partir do cruzamento de duas plantas com flores cor-de-rosa é

- a) 100% flores cor-de-rosa.
- b) 50% flores cor-de-rosa, 50% flores brancas.
- c) 50% flores cor-de-rosa, 50% flores vermelhas.
- d) 33,3% flores vermelhas, 33,3% flores cor-de-rosa, 33,3% flores brancas.
- e) 25% flores vermelhas; 50% flores cor-de-rosa, 25% flores brancas.

10. Sistema Dom Bosco – O gene responsável por desenvolver o fenotipo “pescoço pelado” em aves tem dominância incompleta. Ao realizarmos o cruzamento entre indivíduos que apresentam plumagem normal (genótipo NN) e indivíduos que têm até 80% ou 100% de redução da plumagem (genótipo PP), a prole apresentará uma redução de até 40% da plumagem do pescoço (genótipo NP). Com base nessas informações, cite três características desse tipo de herança: em relação ao fenotipo, à proporção encontrada para esse padrão e à funcionalidade das proteínas produzidas.

11. Vunesp (adaptada) – Considere as seguintes formas de herança:

- I. As flores maravilha apresentam indivíduos com genótipo VV que definem a cor vermelha. Indivíduos homozigotos com genótipos BB apresentam flores brancas. Os heterozigotos resultantes apresentam genótipos VB e possuem coloração rosa.
- II. Os cavalos que apresentam pelagem do tipo leopardo são heterozigotos (genótipo Ll), enquanto indivíduos com genótipo ll apresentam coloração branca pura e indivíduos com genótipo LL apresentam coloração branca com muito mais manchas que os heterozigotos.
- III. Ervilhas lisas podem apresentar o genótipo RR ou Rr e ervilhas rugosas apresentam genótipo rr.

Com base nessas informações e em seus conhecimentos, marque a alternativa correta:

- a) I e II são exemplos de dominância incompleta.
- b) II e III são heranças do tipo dominância incompleta.
- c) Apenas I é um exemplo de dominância completa.
- d) Apenas II é um exemplo de dominância incompleta.
- e) Apenas III é um exemplo de dominância incompleta.

ESTUDO PARA O ENEM

18. Sistema Dom Bosco

C8-H28

Na região nordeste do Brasil, os caprinos são explorados de forma extensivo por serem bem-adaptados ao ambiente semiárido. Foi constatado que o tamanho das orelhas desses animais possui padrão de herança do tipo dominância incompleta. Dessa maneira, indivíduos com genótipo MM apresentam orelhas do tipo rato, medindo até 2,5 cm de comprimento, indivíduos com genótipo EE apresentam orelhas do tipo élfica, medindo em torno de 5 cm, e indivíduos com o genótipo ME apresentam um tamanho intermediário. Um criador do interior do Nordeste deixou que sua cabra, que possui orelhas do tipo élfica, cruzasse com um bode que possui orelhas de rato.

Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/881235/1/6313caracterizacao.pdf>>. Acesso em: nov. 2018.

(Adaptado)

Com base nessas informações e em seus conhecimentos, marque a alternativa correta em relação ao fenótipo esperado da prole.

- a) Toda a prole terá orelhas élficas.
- b) Toda a prole terá orelhas de rato.
- c) Toda a prole terá orelhas com tamanho intermediário.
- d) Metade da prole terá orelhas de rato, e a outra metade terá orelhas com tamanho intermediário.
- e) Metade da prole terá orelhas élficas, e a outra metade terá orelhas com tamanho intermediário.

19. Sistema Dom Bosco

C4-H13

Em 2009, pesquisadores da Universidade Federal de Goiás tentaram determinar o controle genético da resistência do feijoeiro comum ao patótipo FOP 46 do fungo *Fusarium oxysporum*, que faz com que a planta murche rapidamente. Para isso, houve o cruzamento de indivíduos da população de Milionário 1732, que são resistentes, com indivíduos da linhagem FT Tarumã, que são suscetíveis à doença. A geração F1 apresentou 100% de resistência à murcha do fusário, não somente ao patótipo em questão, mas em relação a outros patótipos

derivados do mesmo fungo. Ao realizar a autofecundação de indivíduos da geração F1, percebeu-se que 27 indivíduos eram resistentes, 57 eram segregantes, isto é, tinham maior resistência inclusive a outros patótipos, e 36 indivíduos eram suscetíveis à doença.

CÂNDIDA, Daniella V et al. Controle genético da murcha...

Tropical Plant Pathology. v. 34, n. 6, nov./dez. 2009.

Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/tpp/v34n6/a03v34n6>>. Acesso em: nov. 2018. (Adaptado)

Com base nos resultados obtidos, a equipe responsável por essa pesquisa concluiu que o padrão de resistência à murcha do fusário é

- a) herança autossômica dominante.
- b) herança autossômica recessiva.
- c) dominância incompleta.
- d) herança ligada ao sexo recessiva.
- e) herança ligada ao sexo dominante.

20. Sistema Dom Bosco

C4-H13

As galinhas andaluzas têm grande valor econômico por apresentar plumagem azulada. Essa característica tem herança do tipo dominância incompleta e é produzida principalmente por meio do cruzamento entre indivíduos com plumagem branca e indivíduos com plumagem negra.

Com base nessas informações e em seus conhecimentos, marque a alternativa que representa a melhor forma de os criadores produzirem indivíduos com o fenótipo intermediário.

- a) Cruzar indivíduos com plumagem completamente branca entre si.
- b) Cruzar indivíduos com plumagem azul entre si.
- c) Cruzar indivíduos com plumagem branca com indivíduos com plumagem azul.
- d) Cruzar indivíduos de plumagem negra entre si.
- e) Cruzar indivíduos com plumagem branca com indivíduos que apresentam plumagem negra.

CASOS ESPECIAIS DE MONO-HIBRIDISMO: CODOMINÂNCIA E ALELOS MÚLTIPLOS

34

O ágar é um produto mucilaginoso utilizado em culturas de microrganismos aplicados em pesquisas, na indústria alimentícia e na produção de cosméticos. É extraído de algas vermelhas (filo Rhodophyta) do gênero *Gracilaria*.

Pesquisadores da Universidade de São Paulo (USP) encontraram uma população dessas algas de cor verde na costa do Nordeste do Brasil, a qual cresce lado a lado com indivíduos de cor vermelha e marrom. Essas algas não são espécies diferentes, mas representam variantes. Com base nessa descoberta, foram feitos cruzamentos desses organismos a fim de investigar o tipo de herança genética de coloração dessas algas.

Inicialmente foram cruzados organismos vermelhos entre si. O resultado foi uma geração com coloração igual à dos parentais, ou seja, 100% vermelha. Do mesmo modo, os pesquisadores cruzaram apenas organismos verdes. Obtiveram também uma geração com coloração idêntica à dos parentais, isto é, 100% verdes. Em seguida, foi realizado o cruzamento entre organismos vermelhos e verdes. O resultado foi uma geração formada 100% por indivíduos de cor marrom. Esta geração F1, ao ser autocruzada, gerou 25% dos indivíduos de coloração vermelha, 50% de cor marrom e 25% de coloração verde.

A coloração representava uma mistura das duas características, e não somente um dos alelos sendo expresso. Nesses casos, ambos os alelos eram ativos e expressavam suas características. Com base nesses resultados, a conclusão foi de que o padrão de herança do caráter de coloração naquelas populações de algas é a **codominância**.

- Codominância
- Alelos múltiplos

HABILIDADES

- Compreender o que é codominância e citar os principais exemplos desse tipo de herança.
- Entender a importância de alelos múltiplos e citar os principais exemplos relacionados a eles.

NANCYANNIB/ISTOCKPHOTO.COM



Alga do gênero *Gracilaria* na praia.

CODOMINÂNCIA

Esse fenômeno ocorre quando o genótipo heterozigoto apresenta um fenótipo mesclado em relação aos genótipos parentais e as proporções genotípicas e fenotípicas são iguais (1:2:1), de modo similar à dominância incompleta.

Diferentemente da dominância incompleta, na codominância ambos os alelos produzem proteínas funcionais.

Não há fenótipo intermediário, de modo que é a mistura de duas características diferentes no mesmo indivíduo que produz um fenótipo novo, o qual é o heterozigoto.

Portanto, no exemplo citado na introdução deste módulo, se considerarmos que as algas vermelhas apresentam genótipo RR, e as algas verdes, genótipo GG, aquelas de coloração marrom têm genótipos RG, com a produção de proteínas que manifestam a coloração vermelha, e proteínas que expressam a cor verde. Assim, o tom marrom é originado pela mistura de ambos os pigmentos.

CARLOS RONDON/SHUTTERSTOCK; REEREKHAOSAVI/SHUTTERSTOCK; HOMI/SHUTTERSTOCK



Esquema que exemplifica o resultado do cruzamento entre indivíduos homozigotos codominantes. O indivíduo formado apresenta um fenótipo novo.

SISTEMAS ABO E MN

Um exemplo clássico de codominância é encontrado no sistema **ABO**. Há três alelos envolvidos: I^A , I^B e I^i , os quais são responsáveis por determinar os antígenos presentes no sangue, que podem ser do tipo A, B ou O, respectivamente. O alelo I^A produz antígenos do tipo A. O alelo I^B gera antígenos do tipo B. O alelo I^i não produz antígenos perceptíveis, sendo os dois primeiros dominantes sobre o último.

Entretanto, indivíduos heterozigotos que apresentam o **genótipo $I^A I^B$** são **codominantes**, porque ambos os alelos produzem os respectivos antígenos (A e B).

O mesmo acontece com o sistema **MN**. Ou seja, indivíduos com genótipo $L^M L^M$ produzem antígenos M. Aqueles com genótipo $L^N L^N$ geram antígenos N. Indivíduos com genótipo heterozigoto $L^M L^N$ produzem ambos os antígenos. O sistema MN, assim como o ABO, consiste no reconhecimento de antígenos específicos na superfície das hemácias, que, ao entrarem em contato com o outro antígeno que não o próprio, podem reagir, o que resulta na aglutinação das hemácias.



MEDICSHOTS / ALAMY STOCK PHOTO

Os sistemas ABO e MN têm herança codominante. Indivíduos do tipo sanguíneo AB, por exemplo, produzem antígenos A e B.

GADO SHORTHORN

Essa raça de bovinos apresenta três tipos de pelagem: vermelha, branca e rosilha (ou ruão), que é formado pela mistura das cores vermelha e branca e se refere ao fenótipo do indivíduo heterozigoto.



LYNN STONE/GETTY IMAGES

A coloração rosilha na raça de gados shorthorn é um exemplo de herança codominante.

ANEMIA FALCIFORME

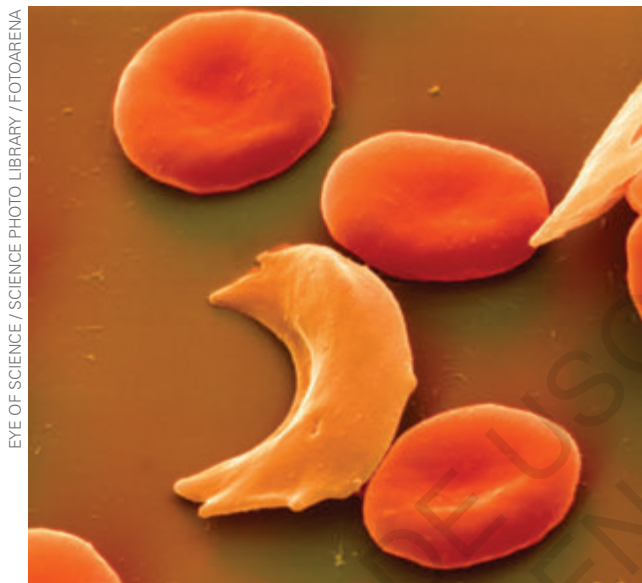
A anemia falciforme é uma malformação das hemácias, células responsáveis por transportar oxigênio nos vasos sanguíneos. Em indivíduos com essa doença, as hemácias sofrem deformação em sua estrutura cônica arredondada e adquirem forma de foice (termo que origina o nome dessa condição: *falciforme*). Desse modo, tais hemácias não são capazes de transportar o oxigênio corretamente.

Os alelos Hb^A e Hb^S produzem duas formas diferentes de hemoglobina, as quais se diferem por causa de um único aminoácido. O indivíduo heterozigoto é

capaz de produzir ambas as variantes (hemoglobina normal e hemoglobina falciforme), apresentando, assim, herança codominante.

Indivíduos que apresentam genótipo Hb^A/Hb^A têm hemácias normais. Aqueles de genótipo Hb^A/Hb^S não têm anemia, e suas hemácias apresentam formato falciforme apenas sob baixas concentrações de oxigênio. Indivíduos de genótipo Hb^S/Hb^S têm anemia grave, geralmente fatal, e a hemoglobina anormal gera hemácias falciformes.

Uma vantagem dessa anomalia é que indivíduos heterozigotos, por apresentarem quantidade reduzida de hemoglobinas falciformes, são resistentes à malária, uma vez que o protozoário causador da doença não consegue concluir seu ciclo de vida em hemoglobinas com tal formato.



Micrografia eletrônica de varredura colorida que apresenta duas hemoglobinas comuns e uma falciforme. Aumento: 7 400x (imagem 6 × 6 cm). Cores fantasia.

LEITURA COMPLEMENTAR

Doença de von Willebrand

Essa condição causa hemorragia excessiva, em virtude da redução da proteína denominada “fator de von Willebrand (FvW)”, causada por mutações no cromossomo 12. Em geral, ela é hereditária e considerada rara, por atingir aproximadamente 2% da população mundial. Essa proteína está associada à adesão das plaquetas ao subendotélio lesionado, o que contribuiu para formar coágulos nas lesões de pele. O acúmulo de coágulo impede que o tecido permaneça lesionado por muito tempo. Isso evita a perda de sangue e a exposição do organismo ao ambiente externo.

Há três categorias de doença de von Willebrand:

Tipo 1: mais comum, ocorre em razão da baixa concentração do fator von Willebrand. Nele os sangramentos são leves ou moderados.

Tipo 2: um pouco mais raro, é caracterizado pela dificuldade de o FvW se ligar às plaquetas, de forma que a doença gera poucas unidades disponíveis e funcionais na circulação. Os sangramentos são moderados ou graves.

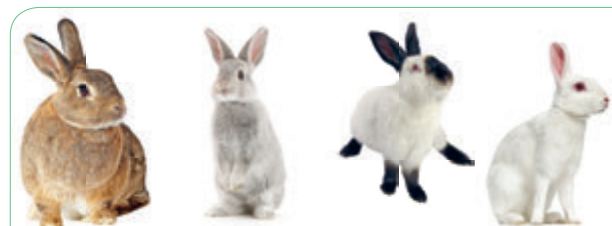
Tipo 3: considerado o mais severo em razão da deficiência total da proteína, promove sangramentos bastante graves.

Em 2013, pesquisadores da Queen’s University (Canadá) realizaram análises genéticas em 100 indivíduos com essa doença, na tentativa de identificar o padrão de herança relacionada a essa anomalia. Ao todo foram constatadas 31 mutações no gene em questão. Os participantes que apresentavam maior quantidade de mutações também tinham a forma mais severa da doença (tipo 3). Além disso, após diversas análises dos genótipos dos indivíduos, foi possível concluir que aqueles com o tipo 3 são sempre heterozigotos. Os pesquisadores, então, tiveram condições de afirmar que a doença de von Willebrand tem padrão de herança codominante.

ALELOS MÚLTIPLOS

Na maioria dos exemplos estudados até aqui, apenas dois alelos estavam no mesmo *locus*. Entretanto, pode haver a ocorrência de três ou mais alelos diferentes ocupando um mesmo *locus*, denominados alelos múltiplos, que determinam o padrão de herança chamado polialelia. A grande diversidade alélica para determinados genes decorre de mutações nas cópias dos genes, o que gera proteínas alteradas da proteína original.

Na espécie humana, o sistema ABO é constituído por três alelos, que, ao serem combinados em pares, determinam o tipo sanguíneo do indivíduo. Outro exemplo clássico é a determinação da cor da pelagem em coelhos. Existem quatro fenótipos: selvagem (ou agouti), chinchila, himalaia e albino. Aqueles do tipo selvagem apresentam pelos em tons de marrom ou cinza, os quais são muito comuns na natureza. Os coelhos do tipo chinchila têm pelagem cinza ou prateada. Os do tipo himalaia apresentam pelos brancos com algumas manchas pretas (geralmente nas patas, no focinho e nas orelhas). Os coelhos albinos são totalmente brancos e apresentam olhos vermelhos.



Da esquerda para a direita: coelhos dos tipos selvagem, chinchila, himalaia e albino.

A herança é condicionada por quatro alelos múltiplos:

- **C** determina a pelagem selvagem;
- **c^{ch}** expressa a pelagem chinchila;
- **c^h** determina a pelagem himalaia;
- **c^a** ou **c** expressa a pelagem albina.

A relação de dominância entre os alelos ocorre da seguinte forma:

$$C > c^{ch} > c^h > c^a$$

Com isso, podemos concluir que o gene:

- **C** é dominante sobre os outros;
- **c^{ch}** é dominante sobre os genes **c^h** e **c^a**;
- **c^h** é dominante sobre o gene **c^a**.

Dessa forma, temos as seguintes combinações de genótipos e fenótipos possíveis:

Genótipos	Fenótipos
CC, Cc ^{ch} , Cc ^h , Cc ^a	selvagem
c ^{ch} c ^{ch} , c ^{ch} c ^h , c ^{ch} c ^a	chinchila
c ^h c ^h , c ^h c ^a	himalaia
c ^a c ^a	albino

Imagine que um coelho do tipo chinchila, filho de uma coelha albina, cruzou com uma fêmea do tipo selvagem. Desse cruzamento foi gerado um descendente do tipo himalaia. Qual a probabilidade de esse macho, ao cruzar novamente com a mesma fêmea, originar filhotes do tipo chinchila?

O macho chinchila com certeza recebeu o alelo **c^a** de sua mãe, que é albina, o qual é, portanto, do genótipo **c^{ch}c^a**. Ele cruzou com uma fêmea selvagem e gerou indivíduos himalaias. Sabemos, então, que o genótipo da fêmea é **Cc^h**, uma vez que o alelo responsável pelo tipo himalaia não consta no genótipo do coelho macho. Portanto, os genótipos do macho chinchila e da fêmea selvagem são, respectivamente, **c^{ch}c^a** e **Cc^h**. Assim, os genótipos gerados desse cruzamento são:

	c ^{ch}	c ^a
C	(selvagem) Cc ^{ch}	(selvagem) Cc ^a
c ^h	(chinchila) c ^{ch} c ^h	(himalaia) c ^h c ^a

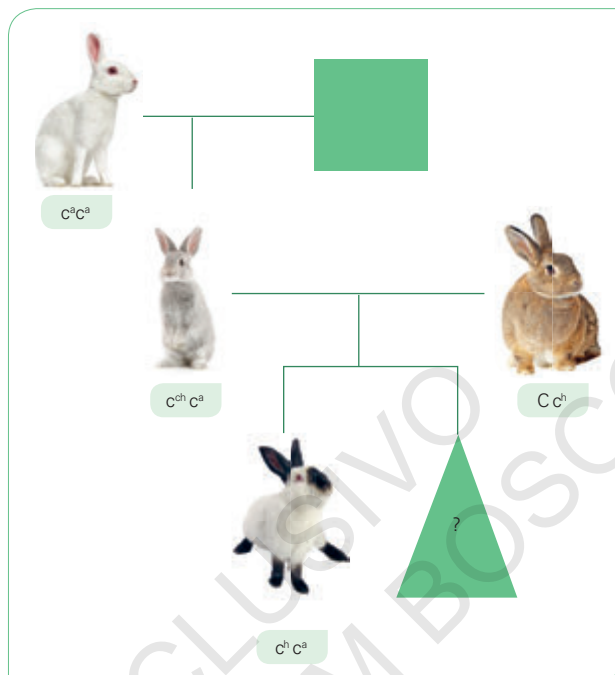
As proporções de prole desse cruzamento são 2 coelhos selvagens, 1 chinchila e 1 himalaia. Uma vez que, entre as 4 possibilidades, apenas 1 delas apresenta o genótipo chinchila, a probabilidade será 1/4, ou seja, 25%.

Em uma série de *n* alelos múltiplos, a quantidade de genótipos diferentes é determinada pela seguinte equação:

$$n(n + 1) / 2$$

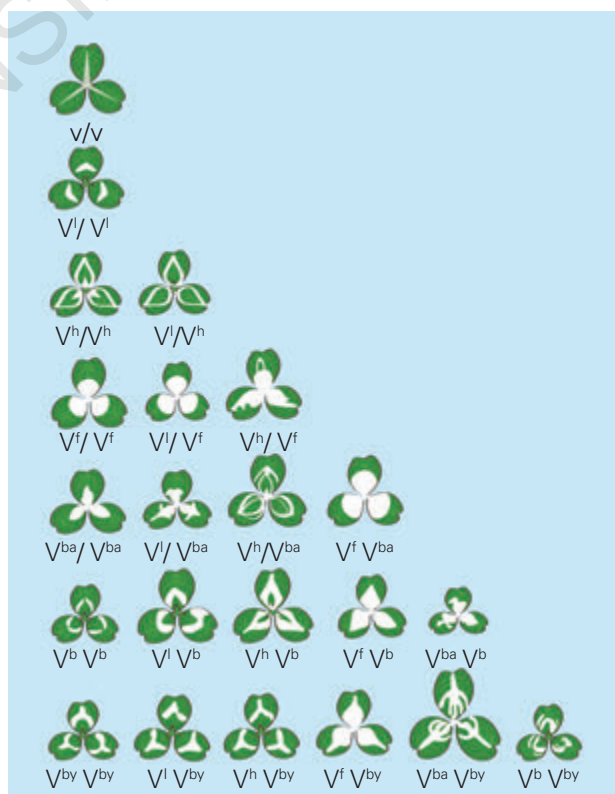
Portanto, em uma série de 4 alelos múltiplos, a quantidade de genótipos que podem ser encontrados será de:

$$4(4 + 1) / 2 = 4 \cdot 5 / 2 = 20 / 2 = 10 \text{ genótipos}$$



Heredograma que ilustra os genótipos e os fenótipos associados ao cruzamento de um macho chinchila com uma fêmea selvagem.

Outro exemplo interessante de polialelia é o formato das folhas de trevo. Há várias espécies dessa planta (gênero *Trifolium*). Pesquisas realizadas com o trevo-branco indicaram uma diversidade muito grande de formato das folhas, com um padrão de herança polialélica. Observe a imagem.



As variações no formato das folhas dos trevos estão relacionadas a sete alelos, conforme o padrão de dominância nesta imagem. Os alelos são: *v*, *V^I*, *V^h*, *V^b*, *V^{ba}*, *V^f* e *V^b*. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

ROTEIRO DE AULA

CASOS ESPECIAIS DE MONO-HIBRIDISMO:
CODOMINÂNCIA E ALELOS MÚLTIPLOS

Codominância

Heterozigoto apresenta
fenótipo

mesclado

Proporções fenotípica e
genotípica são iguais a

1:2:1

Os dois alelos produzem

proteínas funcionais

Ocorrem em

sistema ABO

resulta nos tipos sanguíneos

sistema MN

produz diferentes antígenos

pelagem dos gados *shorthorn*

resulta em um fenótipo heterozigoto

anemia falciforme

resulta na malformação das hemácias

Alelos múltiplos

Mais de dois alelos no mesmo *locus*

Padrão de herança

polialiela

Ocorrem em

sistema ABO

resulta em quatro

diferentes tipos

pelagem de coelhos

de coelhos

formato das folhas

de trevos

ocasionando diversos
formatos de folhas

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO DO BOSCO
SISTEMA DE ENSINO

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. UPF-RS (adaptada) – Considere as afirmativas abaixo sobre as possíveis interações entre alelos de um mesmo gene, assinalando com V as verdadeiras e com F as falsas.

- () Dominância incompleta é o termo utilizado para descrever situações em que os indivíduos heterozigotos apresentam fenótipo intermediário entre os fenótipos dos parentais homozigotos.
- () Quando o fenótipo dos indivíduos heterozigotos for igual ao fenótipo de um dos parentais, esse tipo de interação alélica é denominado codominância.
- () Denomina-se polialelia ou alelos múltiplos o fenômeno em que um gene condiciona ou influencia mais de uma característica.
- () Tanto na codominância como na dominância incompleta, todos os alelos produzem proteínas funcionais.
- () Ocorre dominância completa quando ambos os alelos de um *locus* são expressos.

A sequência correta de preenchimento dos parênteses, de cima para baixo, é:

- a) V-F-V-F-V
- b) V-F-V-F-F**
- c) V-F-F-V-F
- d) F-F-V-F-F
- e) F-F-V-F-V

A segunda afirmativa está incorreta, porque, quando o fenótipo de um indivíduo heterozigoto é igual ao de um dos parentais, temos uma relação de dominância completa. A quarta afirmativa está incorreta, pois, na dominância incompleta, um alelo produz uma proteína funcional, e o outro, uma não funcional. Na codominância, ambos os alelos produzem proteínas funcionais. A quinta afirmativa está incorreta, porque a dominância completa acontece quando apenas um dos alelos de um *locus* é expresso.

2. Uerj (adaptada) – Em algumas raças de gado bovino, o cruzamento de indivíduos de pelagem totalmente vermelha com outros de pelagem totalmente branca produz sempre indivíduos malhados, com pelagem de manchas vermelhas e brancas.

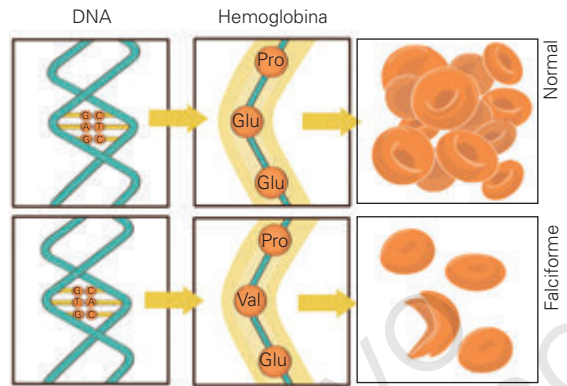
Admita um grupo de indivíduos malhados, cruzados apenas entre si, que gerou uma prole de indivíduos de coloração totalmente vermelha, indivíduos com pelagem malhada e indivíduos com coloração inteiramente branca.

O resultado desse cruzamento é um exemplo do fenômeno genético denominado

- a) polialelia.
- b) dominância completa.
- c) dominância incompleta.
- d) codominância.**

O exemplo citado se refere à codominância, pelo fato de o indivíduo heterozigoto apresentar ambas as cores na pelagem de forma mesclada e em virtude de o cruzamento entre heterozigotos poder gerar prole com todas as possibilidades de cor.

3. UFSM-RS (adaptada) – A saúde de pessoas com a doença das células falciformes é comprometida. Nessa doença, a hemoglobina alterada deforma-se em baixa tensão de gás oxigênio, o que reduz a eficiência do transporte do oxigênio pelo sangue, causando os sintomas da doença, tais como anemia recorrente e fortes dores musculares.



O genótipo de um indivíduo heterozigoto para a doença das células falciformes apresenta dominância em nível molecular entre os alelos da hemoglobina? Explique.

O genótipo heterozigoto não apresenta dominância entre os alelos, pois

os portadores desse genótipo têm glóbulos vermelhos tanto normais

quanto falcêmicos. Ou seja, trata-se de um caso de codominância.

4. UFRGS-RS (adaptada) – Existem quatro tipos de pelagem de coelhos: chinchila, himalaia, selvagem e albino, resultantes da combinação de quatro alelos diferentes, presentes em um mesmo *locus*. Foi realizado um experimento em que animais com diferentes fenótipos foram cruzados várias vezes, conforme mostrado no quadro a seguir:

Cruzamento	Fenótipos parentais	Fenótipos da progênie			
		Hi	Ch	Se	Al
1	Ag × Al	12	0	11	0
2	Ag × Hi	0	0	23	0
3	Ag × Ch	0	14	15	0
4	Ag × Ch	6	6	12	0
5	Ch × Ch	9	30	0	0
6	Hi × Al	18	0	0	0

Al = albino; Hi = himalaio; Ch = chinchila; Se = selvagem.

Se o animal progenitor selvagem do cruzamento 1 for utilizado para obtenção de filhotes com o progenitor chinchila do cruzamento 4, qual será a proporção fenotípica esperada?

- a) 50% selvagem, 50% chinchila.
- b) 50% selvagem, 50% himalaia.
- c) 75% selvagem, 25% himalaia.
- d) 50% selvagem, 25% chinchila, 25% himalaia.**
- e) 75% selvagem, 25% chinchila.

Para resolver esse exercício, é importante lembrar que a hierarquia alélica é a seguinte: C (selvagem) > c^h (chinchila) > c^h (himalaio) > c^a (albino).

No cruzamento 1, um coelho selvagem (C_) é cruzado com um albino (c^ac^a). Como resultado, temos: 50% de filhotes himalaia (c^hc^h) e 50% filhotes selvagens (C_). Com base nisso, sabemos que o alelo c^h pertence ao coelho selvagem parental, sendo seu genótipo Cc^h.

No cruzamento 4, o parental selvagem (C_) é cruzado com um indivíduo chinchila (c^hc^h). Como resultado, temos: 50% de filhotes selvagens, 25% himalaia e 25% chinchilas. Portanto, com base nesse cruzamento, sabemos que os genótipos dos parentais do cruzamento 4 são Cc^h e c^hc^h, respectivamente.

No cruzamento entre o selvagem utilizado como parental do cruzamento 1 e o chinchila utilizado como parental no cruzamento 4, teremos os seguintes genótipos: Cc^h × c^hc^h. Desse cruzamento, temos 25% Cc^h; 25% Cc^h; 25% c^hc^h; 25% c^hc^h. Fenotipicamente, obtemos a proporção de 50% selvagem, 25% chinchila e 25% himalaia.

5. IFBA – De acordo com a tabela dos variados tipos sanguíneos humanos do sistema ABO abaixo, responda: quais os tipos de herança genética que são encontradas na expressão da variedade dos tipos sanguíneos humanos? Escolha a alternativa correta.

Tipo sanguíneo humano	Alelos envolvidos
A	I ^A I ^A ou I ^A i
B	I ^B I ^B ou I ^B i
AB	I ^A I ^B
O	ii

- a) Dominância/recessividade, alelos múltiplos e codominância.
 b) Dominância/recessividade apenas.
 c) Dominância/recessividade e dominância incompleta.
 d) Dominância/recessividade alelos múltiplos.
 e) Codominância e dominância incompleta.

Os alelos I^A e I^B são dominantes sobre o alelo i. Entretanto, há codominância entre os alelos I^A e I^B, por ambos produzirem antígenos funcionais. Além disso, é um exemplo de característica com polialelia por apresentar três alelos: I^A, I^B e i.

6. UFRGS (adaptada)

C5-H17

O quadro abaixo apresenta distribuição dos diferentes alelos do gene cujas combinações genotípicas são responsáveis pelos padrões de coloração da pelagem de algumas raças caninas.

Raça	Padrão de coloração	Genótipo
<i>Doberman</i>	tan	a'a ^t
<i>Collie</i>	dourada	A'a ^v
<i>Collie</i>	dourada	a'a ^t
Pastor de Shetland	preta	aa
Pastor de Shetland	tan	a'a
Pastor de Shetland	dourada	a'a
<i>Eurasier</i>	preta	aa
<i>Eurasier</i>	prateada	a ^w a ^w
<i>Eurasier</i>	prateada	a ^w a ^t
<i>Eurasier</i>	dourada	a'a ^w
<i>Eurasier</i>	prateada	a ^w a

Com base no quadro, cite a ordem de hierarquia de dominância dos diferentes alelos.

Temos quatro contextos:

- a coloração dourada é determinada pelo alelo a' (a'a', a'a^w, a'a^t e a'a);
- a cor prata é expressa pelo alelo a^w (a^wa^w, a^wa', a^wa);

- a coloração tan é determinada pelo alelo a' (a'a' e a'a);
- a cor preta é expressa pelo alelo a (aa).

Dessa forma, a hierarquia de dominância é a' > a^w > a' > a.

Competência: Entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos.

Habilidade: Relacionar informações apresentadas em diferentes

formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo,

gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. OBB – A anemia falciforme é uma doença caracterizada pela produção de moléculas de hemoglobina anormais, incapazes de transportar O₂, comprometendo a oxigenação do organismo. Indivíduos com genótipo AA produzem a molécula normal de hemoglobina, não sendo afetados pela doença. Indivíduos com genótipo SS produzem apenas a forma anormal de hemoglobina, sendo afetados pela anemia falciforme. Já indivíduos heterozigotos (AS) apresentam a forma branda da doença, condição conhecida como traço falciforme. A frequência desses alelos varia entre diferentes populações humanas. Em algumas regiões onde a malária é endêmica, a frequência de indivíduos AS é maior quando comparada à de populações humanas onde a malária é incomum. O *Plasmodium vivax*, agente causador da malária, invade as hemácias, onde se reproduz assexuadamente. A presença da hemoglobina anormal dificulta essa etapa do ciclo de vida do plasmódio. Outras células que são afetadas pelo plasmódio são os

hepatócitos. O plasmódio é transmitido pelo mosquito *Anopheles* sp.

Considere um casal formado por um homem que não apresenta nenhum traço de anemia falciforme e por uma mulher que é acometida pela forma branda da doença. Este deseja ter filhos, mas a esposa se recusa a engravidar porque acredita que há chance de nascer uma criança afetada pela forma grave da doença. A esposa está

- a) incorreta, pois a anemia falciforme é determinada por um alelo dominante.
 b) correta, pois a anemia falciforme é determinada por um alelo recessivo.
 c) incorreta, porque ocorre dominância incompleta entre os alelos A e S.
 d) incorreta, porque há codominância entre os alelos A e S.
 e) correta, pois a anemia falciforme é determinada por alelos múltiplos.

8. PUC-Campinas (adaptada) – A cor dos olhos de uma determinada espécie de abelha é condicionada por uma série de cinco alelos, entre os quais, há a seguinte relação de dominância:

$$a1 > a2 > a3 > a4 > a5$$

O alelo a1 é responsável pela cor marrom, o alelo a2 é responsável pela cor pérola, o alelo a3 é responsável pela cor neve, o alelo a4 é responsável pela cor creme e o alelo a5 é responsável pela cor amarela. Suponha que haja codominância entre os alelos a2 e a4.

Uma rainha de olhos marrons que possui genótipo a1a2 foi inseminada por espermatozoides de machos com olhos de coloração creme.

Com base nessas informações e em seus conhecimentos, marque a alternativa que apresente a proporção fenotípica esperada de descendentes da rainha.

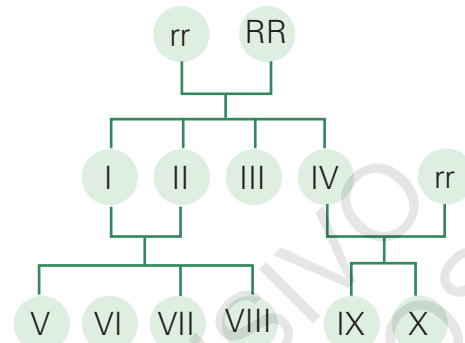
- a) 100% marrom.
- b) 100% pérola.
- c) 50% marrom e 50% pérola.
- d) 50% marrom e 50% creme.
- e) 50% marrom e 50% pérola e creme.

9. Sistema Dom Bosco – A codominância é um fenômeno em que o indivíduo heterozigoto apresenta os fenótipos de ambos os alelos, geralmente de forma mesclada. Sendo assim, um exemplo de codominância é (são):

- a) Flores maravilha com pétalas rosa.
- b) Coloração de pelos rosilha nos gados *shorthorn*.
- c) Galinhas andaluzas azuladas.
- d) Pelagem dos coelhos.

10. UFSC (adaptada) – Considere que um gene apresenta 3 alelos (A, B e C), onde os alelos A e B são codominantes e o alelo C é recessivo em relação a ambos. Com base nessas informações, cite o número correto de genótipos e fenótipos existentes para esse gene.

11. Unicamp-SP (adaptada) – Em uma espécie de planta, o caráter cor da flor tem codominância e herança mendeliana. O fenótipo vermelho é homozigoto dominante, enquanto a cor branca é característica do homozigoto recessivo. Considerando o esquema abaixo, é correto afirmar que



- a) os indivíduos I, II, III e IV apresentam um fenótipo mesclado.
- b) X apresenta fenótipo vermelho.
- c) os fenótipos de IX e X são os mesmos dos pais.
- d) o fenótipo de IV é branco.

12. PUC-Campinas – Imagine que, em um dado mamífero, a cor da pelagem seja determinada por três alelos:

Alelo P – determina pelagem preta.

Alelo C – determina pelagem cinza.

Alelo B – determina pelagem branca.

Considere que o alelo P é dominante sobre o alelo B e que há dominância do alelo C sobre os alelos P e B.

Em um experimento envolvendo cinco cruzamentos, foram utilizados animais com três tipos de pelagem. Os cruzamentos e seus resultados são apresentados na tabela abaixo.

Cruza-mento	Macho	Fêmea	Descendentes
I	Branco	Branca	100% brancos
II	Branco	Cinza	50% cinzas e 50% brancos
III	Cinza	Preta	100% cinza
IV	Preto	Preta	75% pretos e 25% brancos
V	Preto	Branca	100% preto

Se machos de pelagem cinza provenientes do cruzamento II forem acasalados com fêmeas de pelagem preta provenientes do cruzamento V, espera-se que entre os descendentes

- a) 50% tenham pelagem cinza e 50% branca.
- b) 50% tenham pelagem cinza e 50% preta.
- c) 75% tenham pelagem cinza e 25% branca.
- d) 75% tenham pelagem cinza e 25% preta.
- e) 25% tenham pelagem preta, 50% cinza e 25% branca.

13. Fuvest-SP (adaptada) – O formato das folhas dos trevos é condicionado por herança polialélica, onde existem sete alelos alternativos para um mesmo locus, capazes de produzir essa característica. Considerando essas informações, marque a alternativa que represente o número de genótipos que podem existir em uma população onde ocorram esses sete alelos:

- a) 28 genótipos. d) 42 genótipos.
 b) 56 genótipos. e) 49 genótipos.
 c) 15 genótipos.

14. UFRGS (adaptada) – Em uma determinada espécie de peixe, existem três padrões de coloração da nadadeira dorsal: negra, rajada e amarela, resultantes da combinação de três alelos diferentes para um mesmo locus. No quadro a seguir, estão representados cruzamentos entre peixes com padrões de coloração e suas respectivas gerações F_1 e F_2 .

Cruzamentos	Geração F_1	Geração F_2 (número de indivíduos)
1. rajada × amarela	100% rajada	50 rajados; 17 amarelos
2. negra × amarela	100% negra	100 negros; 35 amarelos
3. negra × rajada	100% negra	65 negros; 21 rajados

Qual a proporção fenotípica esperada no cruzamento entre o macho da geração F_1 do cruzamento 3 e a fêmea de F_1 do cruzamento 1?

15. UFU-MG – O quadro abaixo apresenta a distribuição de cinco alelos cujas combinações fenotípicas são responsáveis pela cor do olho de uma certa espécie de abelha.

Padrão de coloração	Genótipo
Marrom	$b^m b$
Neve	$b^n b^n$
Pérola	$b^p b^n$
Neve	$b^n b^c$
Amarelo	bb
Creme	$b^c b$
Marrom	$b^m b^p$
Pérola	$b^p b^c$
Creme	$b^c b^c$
Marrom	$b^m b$
Neve	$b^n b$

Com base nas informações do quadro, qual a ordem de dominância dos diferentes alelos?

- a) $b^p > b^m > b^n > b^c > b$
 b) $b^m > b^p > b^n > b^c > b$
 c) $b^m > b^p > b^c > b > b^n$
 d) $b^p > b > b^c > b^n > b^m$

16. UFRGS (adaptada) – Sabe-se que a cor da pelagem de coelhos é causada por quatro alelos diferentes do gene c, originando os fenótipos selvagem, chinchila, himalaia e albino e que a ordem hierárquica de dominância dos alelos também é essa. Entretanto, suponha que haja codominância do alelo chinchila sobre os alelos albino e himalaia. Com base nessas informações, qual o número de fenótipos encontrados para a pelagem de coelhos?

- a) 2 b) 3 c) 4 d) 5 e) 6

17. Sistema Dom Bosco – Na dominância completa, o alelo dominante permite ao alelo recessivo se expressar. Dessa forma, um genótipo heterozigoto terá apenas o fenótipo do alelo dominante. Entretanto, existem casos em que o heterozigoto apresenta fenótipo diferente dos alelos homozigotos, fenômeno chamado de ausência de dominância. Há dois tipos de ausência de dominância: dominância incompleta e codominância. Com base nessas informações e em seus conhecimentos, cite as semelhanças e diferenças entre ambos.

ESTUDO PARA O ENEM

18. Sistema Dom Bosco

C5-H17

O sistema sanguíneo MN foi descoberto em 1927 por Landsteiner e Levine ao imunizar coelhos com eritrócitos humanos. Mais tarde descobriram que o gene responsável por esse sistema apresenta dois alelos: o M produz anticorpos anti-M, e o N, anticorpos anti-N. Esse sistema é de suma importância na área da saúde, porque está relacionado às reações hemolíticas em transfusões e em recém-nascidos, casos em que há grande produção de eritroblastos e hemácias nucleadas e imaturas lançados na corrente sanguínea.

Sobre esse caso de alelos múltiplos, pode-se afirmar que

- a) existe dominância entre os alelos M e N.
- b) o alelo M pode produzir anticorpos anti-N.
- c) o alelo N pode produzir anticorpos anti-M.
- d) um indivíduo heterozigoto produz apenas anticorpos anti-M.
- e) um indivíduo heterozigoto produz ambos os anticorpos.

19. Sistema Dom Bosco

C5-H17

Por volta do início do século XX, o médico austríaco Karl Landsteiner descreveu a existência do sistema sanguíneo ABO, no qual alguns tipos sanguíneos eram compatíveis entre si e outros não. Para concluir isso, ele misturou diferentes tipos de sangue e percebeu que, ao combinar sangue tipo A com sangue tipo B, as hemácias se aglutinavam, em virtude da presença de anticorpos.

A respeito desse padrão de herança genética, pode-se afirmar que

- a) o sistema ABO apresenta apenas dois alelos.
- b) todos os alelos apresentam relação de dominância entre si.
- c) existe relação de dominância incompleta entre os alelos que produzem anticorpos anti-A e anti-B.
- d) existe relação de codominância entre os alelos que produzem anticorpos anti-A e anti-B.
- e) o alelo que produz sangue tipo O é dominante sobre os demais.

20. Sistema Dom Bosco

C5-H17

Em 2000, pesquisadores da Universidade de Michigan (EUA) analisaram o genoma de 516 cavalos e identificaram que, em animais heterozigotos (genótipo CN), ocorrem grandes cistos no corpo ciliar temporal ou na periferia da retina. Em indivíduos homozigotos para o alelo C (genótipo CC), há anomalias mais severas, como catarata, megalocórnea e cistos ciliares múltiplos. Já indivíduos homozigotos para o alelo N (genótipo NN) apresentavam visão normal, sem nenhum tipo de anomalia. Em geral, também perceberam que a proporção da doença atingia igualmente ambos os sexos.

Sobre a anomalia citada no texto, trata-se de um tipo de herança

- a) autossômica dominante.
- b) autossômica recessiva.
- c) ligada ao sexo.
- d) de codominância.
- e) de polialelia.

HERANÇAS DOS GRUPOS SANGUÍNEOS: SISTEMA ABO

35

O sangue humano e de muitos outros animais é formado pelo plasma, que é um líquido amarelado composto de água (cerca de 90%) e elementos orgânicos e inorgânicos, como sais minerais, vitaminas, anticorpos, albumina, glicose, hormônios, ácido úrico, enzimas etc. Além disso, nele são encontrados os elementos figurados, que são os glóbulos brancos, as hemácias e as plaquetas. Existem vários sistemas sanguíneos no ser humano, como o sistema Rh e o sistema MN – que serão discutidos no próximo módulo –, e o sistema ABO – que tem grande importância clínica quando se trata de transfusões e transplantes. O conhecimento do tipo sanguíneo evita complicações graves pós-transfusões e transplantes, que podem levar à destruição de hemácias, a lesões renais e até à morte, causada pela incompatibilidade sanguínea.

Até pouco tempo não se sabia muito a respeito da origem evolutiva do sistema ABO. A fim de compreender melhor essa questão, foram realizadas análises filogenéticas com base em genes responsáveis pela produção dos componentes sanguíneos.

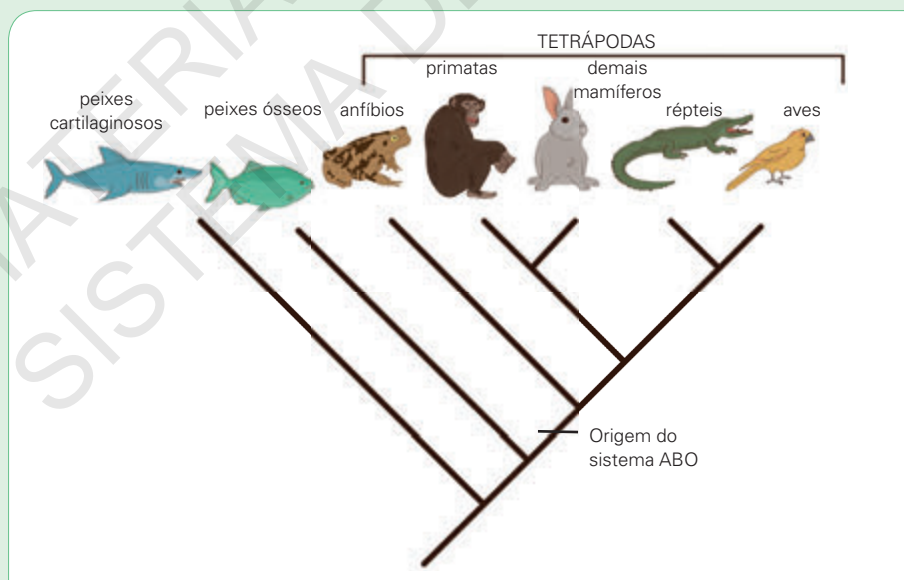
Muitas espécies foram estudadas com base nos dados do GenBank, banco que dá livre acesso a informações sobre as sequências de nucleotídeos e a tradução de suas proteínas em diversas espécies cujo genoma foi sequenciado. Como resultado, observou-se que os genes I^A e I^B apareceram depois da divergência das linhagens de peixes e anfíbios, o que coincide com o período em que os animais começaram a habitar o ambiente terrestre, com a origem dos tetrápodos (há aproximadamente 350 milhões de anos). Em relação à linhagem dos primatas, é muito provável que um ancestral comum já tivesse os alelos em questão, porém, com genes muito mais relacionados aos nossos do que aos dos anfíbios.

Foi descoberto ainda que, em bactérias, os genes do sistema ABO provavelmente surgiram por meio de transferência horizontal de material genético entre grupos. Isto se dá, por exemplo, quando os genes são transferidos entre indivíduos que não são da mesma linhagem por mecanismos de transdução ou transformação bacteriana.

- Sistema ABO
- Transfusões sanguíneas

HABILIDADES

- Descrever os componentes do sangue e a estrutura da hemácia.
- Explicar os padrões de herança genética do sistema ABO.
- Compreender a incompatibilidade entre os tipos sanguíneos.
- Aplicar os conhecimentos genéticos e de herança sanguínea nas áreas forenses e de parentesco.



Cladograma que ilustra a evolução do sistema ABO. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

SISTEMA ABO

O sangue, ao ser centrifugado, é bifásico, ou seja, apresenta uma fase líquida (plasma) e uma sólida (elementos figurados). O **plasma** é composto principalmente de água, mas nele pode haver anticorpos dissolvidos e outras substâncias, como íons, proteínas, hormônios e glicose. Os **elementos figurados** são classificados em três tipos: eritrócitos, leucócitos e trombócitos.

Os **eritrócitos**, também chamados de glóbulos vermelhos ou hemácias, são células anucleadas ricas em hemoglobina responsáveis pelo transporte de oxigênio e parte do gás carbônico e também pela coloração vermelha do sangue. As membranas das hemácias possuem algumas proteínas capazes de reconhecer partículas estranhas, denominadas **antígenos**.

Os **leucócitos** (ou glóbulos brancos) são células nucleadas que atuam no combate às infecções e na defesa do organismo. Parte deles é responsável pela fagocitose de organismos invasores e estranhos e por sua eliminação por meio da digestão por enzimas e radicais livres. Outra parte é encarregada de produzir os anticorpos (ou imunoglobulinas), que também participam da defesa do organismo contra agentes estranhos e invasores.

Os trombócitos (também denominados plaquetas) são elementos desprovidos de núcleo, assim como as hemácias, produzidos na medula óssea e presentes no sangue, que atuam no processo de coagulação sanguínea.

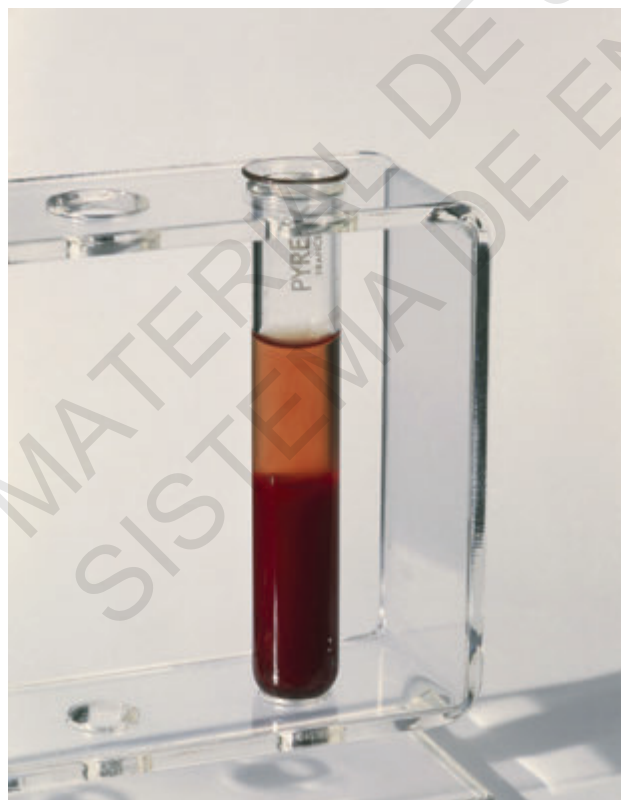
No início do século XX, o médico Karl Landsteiner (1868-1943) observou que, ao misturar o sangue de pessoas diferentes, em alguns casos havia formação de grumos grosseiros.



Karl Landsteiner, responsável pela descrição do sistema ABO.

A formação desses grumos no sangue ocorre devido à presença de antígenos, agentes estranhos ou não próprios do organismo e que fazem parte do sangue. Esses antígenos foram denominados **aglutinogênios A e B**.

Com base na presença ou ausência dos aglutinogênios A e B, o sangue foi dividido em quatro grupos. Cada grupo apresenta diversas formas de **anticorpos** (aglutininas) que atuam contra os aglutinogênios, formando os grumos sanguíneos.



Amostra de sangue bifásica, com o plasma na porção superior do tubo e os elementos figurados na porção inferior.

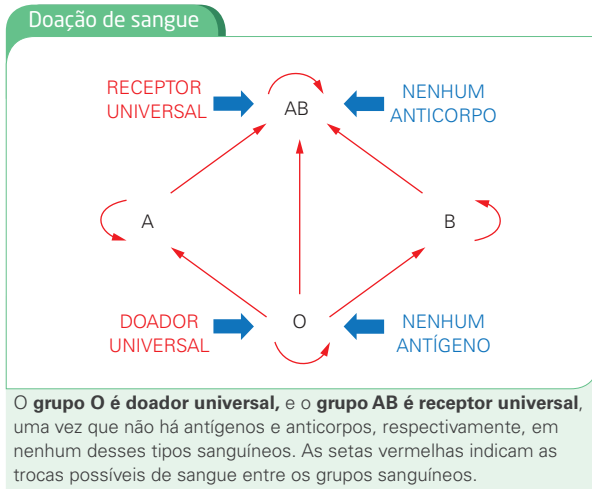
Grupo sanguíneo	A	B	AB	O
Hemácia				
Antígenos (aglutinogênios)	antígeno A	antígeno B	antígenos A e B	nenhum
Anticorpos no plasma (aglutininas)	anti-B	anti-A	nenhum	anti-A e anti-B

Representação esquemática dos grupos sanguíneos baseada nas aglutininas e nos aglutinogênios presentes. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Indivíduos com sangue tipo A têm antígeno A e produzem anticorpos anti-B. Indivíduos com sangue tipo B apresentam antígeno B e produzem anticorpos anti-A. Já aqueles com sangue tipo AB apresentam antígenos A e B e, portanto, não produzem nenhum anticorpo. E pessoas com sangue tipo O não têm nenhum antígeno e produzem anticorpos anti-A e anti-B.

Essa classificação foi denominada **sistema ABO**. Landsteiner propôs que, em uma transfusão sanguínea,

pode ocorrer reação entre o aglutinogênio do doador e as aglutininas do receptor. No caso de uma pessoa com sangue tipo A (que produz antígenos anti-B) receber sangue de uma pessoa do tipo B, haveria reação em que os anticorpos atacariam o sangue recebido, uma vez que o identificaria como algo estranho na circulação e, assim, o sangue sofreria uma **aglutinação**. Com base nessa relação entre os antígenos e os anticorpos identificada nos experimentos de Landsteiner foi estabelecido um quadro de transfusões de sucesso possíveis.



Indivíduos com sangue tipo AB podem doar sangue para indivíduos do mesmo grupo e receber sangue do mesmo grupo e de indivíduos de todos os outros tipos sanguíneos sem que haja complicações. Isto porque não produzem anticorpos, isto é, não apresentam aglutininas contra nenhum aglutinogênio e, por isso, são denominados **receptores universais**.

Indivíduos que têm sangue tipo O podem receber sangue de indivíduos do mesmo grupo e, por não apresentarem antígenos, podem doar tanto para indivíduos do mesmo grupo quanto para de todos os outros e, por isso, são denominados **doadores universais**. Isso também é possível porque a produção de anticorpos é muito reduzida no grupo sanguíneo O. Ao entrar em contato com o sangue A ou B, seus anticorpos são diluídos rapidamente na circulação do receptor, não apresentando risco de destruição para as hemácias, desde que o volume transfundido não ultrapasse 450 ml. Acima desse volume, a concentração de anticorpos pode ser maior, gerando severas consequências. Portanto, o ideal é que, caso haja necessidade de uma transfusão, esta ocorra sempre entre indivíduos do mesmo tipo sanguíneo.

Por sua vez, indivíduos que apresentam sangue tipo A podem receber sangue de pessoas dos grupos O e A e doar para as dos grupos AB e A. E os que apresentam sangue tipo B podem receber sangue de pessoas dos grupos O e B e doar para as dos grupos AB e B.

DETERMINAÇÃO GENÉTICA DO SISTEMA ABO

A produção de aglutinogênios (ou antígenos) A e B é determinada por alelos múltiplos, sendo eles: I^A , I^B e i .

Conforme discutido no módulo anterior, existe uma relação de dominância dos alelos I^A e I^B sobre o alelo i e de codominância entre os alelos I^A e I^B . O alelo I^A determina a produção do aglutinogênio A, e o alelo I^B determina a produção do aglutinogênio B. O alelo i , quando em homozigose, determina apenas que os aglutinogênios não sejam produzidos.

Genótipo	Fenótipo
$I^A I^A$, $I^A i$	sangue A
$I^B I^B$, $I^B i$	sangue B
$I^A I^B$	sangue AB
ii	sangue O

Genótipos e fenótipos do sistema sanguíneo ABO.

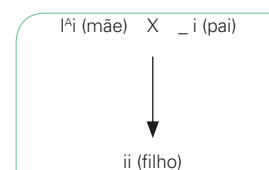
É importante levar em conta que indivíduos com sangue tipo AB (genótipo $I^A I^B$) não são capazes de gerar uma prole com indivíduos de sangue tipo O (genótipo ii), e indivíduos do tipo O não conseguem gerar descendentes tipo AB. Por meio desses padrões de herança genética, é possível identificar crianças desaparecidas, solucionar casos de suspeita de adoção ou paternidade, trocas de bebês em maternidades e solucionar casos criminais com base no sistema ABO.

Suponha que uma mulher do tipo sanguíneo AB (genótipo $I^A I^B$) teve um filho. Entretanto, houve troca de bebês na maternidade, e o bebê que ficou com ela tem tipo sanguíneo O (genótipo ii). Com base no tipo sanguíneo de ambos, é possível afirmar que o bebê não é filho dessa mulher, uma vez que ela não tem alelos i , e sim alelos I^A e I^B , podendo gerar, portanto, apenas filhos de tipo sanguíneo A ou B.

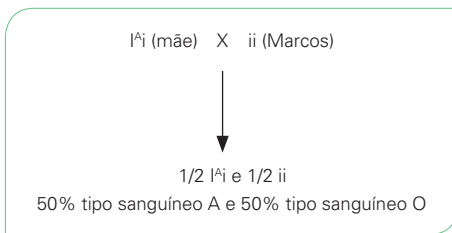
A mesma lógica pode ser empregada, por exemplo, em testes de paternidade. Suponha que uma mulher com tipo sanguíneo A (genótipo $I^A i$) teve um filho com o tipo sanguíneo O (genótipo ii) e que a paternidade esteja sendo contestada. Entre os possíveis pais, estão: João, tipo sanguíneo B, com genótipo homozigoto; Marcos, tipo sanguíneo O; e José, tipo sanguíneo AB.

	Tipo sanguíneo	Genótipo
Mãe	A	genótipo $I^A i$
Filho	O	genótipo ii
João	B	genótipo $I^B I^B$
Marcos	O	genótipo ii
José	AB	genótipo $I^A I^B$

Para solucionar esse caso, basta realizar os cruzamentos entre os genótipos, conforme mostrado a seguir:



Entre os genótipos dos supostos pais, percebe-se que apenas Marcos apresenta o alelo *i*, capaz de originar um bebê com sangue tipo O. Vale lembrar que, para a formação de um indivíduo, um alelo é proveniente do pai e o outro da mãe. Portanto, a probabilidade de tipos sanguíneos entre esse casal é:



É importante esclarecer que testes de paternidade de processos judiciais são válidos somente em conjunto com outras análises genéticas, como o sequenciamento de pares de bases do genoma de regiões compartilhadas entre pais e filhos, em especial regiões de microssatélites.

Outro exemplo de área larga utilização do sistema ABO é a genética forense. Suponha que, em determinado local, tenha sido encontrado um cadáver com tipo sanguíneo AB e que também havia resquícios de sangue tipo O. É razoável, nesse caso, considerar que esta amostra de sangue seja de um assassino, de uma testemunha ou de alguém que estivesse com a vítima. A investigação chegou ao número de 3 suspeitos. Se um deles tiver tipo sanguíneo O, as evidências indicam que ele esteve na cena do crime, podendo ser portanto o assassino. Logo, o tipo sanguíneo pode ajudar a solucionar casos criminais como esse.

Vale lembrar que o genótipo do indivíduo é descoberto por meio da tipagem sanguínea. Para ter a confirmação da participação de um indivíduo em um crime, existem outros métodos, que serão apresentados em módulos posteriores, como a análise de DNA do suspeito e a coleta da impressão digital.



Imagem representando amostra de sangue sendo coletada para análise forense.

A tipagem sanguínea é um teste realizado para a determinação sanguínea das pessoas, bastante utilizado nos centros de hemoterapia e em transfusões sanguíneas. Esse procedimento é feito por profissionais da saúde e consiste em, primeiro, depositar duas gotas de sangue sobre uma lâmina de vidro; em uma delas, adiciona-se uma gota com anticorpos (aglutinina) anti-A,

e, na outra, anti-B (os anticorpos são retirados de coelhos sensibilizados com sangue A ou B, purificados e utilizados no teste). Se houver aglutinação sanguínea ao adicionar o anticorpo anti-A, significa que há antígenos A na hemácia do indivíduo e, portanto, ele tem sangue do tipo A. Do mesmo modo, se houver aglutinação sanguínea ao adicionar o anticorpo anti-B, significa que há antígenos B na hemácia do indivíduo, tendo ele sangue tipo B. Se ambas as gotas de sangue aglutinarem ao interagir com os anticorpos, significa que existem os dois tipos de antígenos e, assim, o indivíduo apresenta tipo sanguíneo AB. Se nenhuma das gotas aglutinar ao interagir com os anticorpos, não há antígenos na hemácia e, assim, sabe-se que o indivíduo tem sangue tipo O.

Sangue antes do teste	Anti-A	Anti-B	Tipo sanguíneo
			sangue A
			sangue B
			sangue AB
			sangue O

Tipagem sanguínea e seus possíveis resultados para identificar os tipos sanguíneos. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

EFEITO BOMBAIM OU FALSO "O"

É um fenômeno raro em que indivíduos dos grupos sanguíneos A, B ou AB apresentam o fenótipo do grupo sanguíneo O. Esse fenômeno foi relatado pela primeira vez em 1952 na cidade de Bombaim, na Índia, e por isso recebeu este nome. Pessoas que são falso O não têm o alelo *H*, responsável pela codificação da enzima ativa que atua na formação do antígeno H. Esse antígeno é transformado em antígeno A ou B. Na ausência do antígeno H (indivíduo com genótipo *hh*), não há formação dos antígenos na superfície das hemácias, mesmo que os alelos I^A e I^B estejam presentes e, por isso, exibem o fenótipo O.

Pessoas com anti-H – fenótipo Bombaim que recebem sangue com antígeno H (sangue do grupo O, por exemplo) –, correm grandes riscos de sofrer reação hemolítica aguda. Portanto, pessoas com fenótipo Bombaim recebem sangue apenas de doadores que também sejam deficientes para a enzima H. Para detectar se um indivíduo apresenta fenótipo Bombaim, basta aplicar anticorpo anti-H em uma gota de sangue durante a tipagem. Se houver aglutinação, o indivíduo é um O verdadeiro, com genótipo *ii*. Caso contrário, o indivíduo é um falso O, podendo ter o genótipo $I^A I^A$, $I^A I^B$, $I^B I^B$, $I^A i$ ou $I^B i$.

LEITURA COMPLEMENTAR

Sangue raro presente em apenas 11 famílias brasileiras salva bebê na Colômbia

Em 2017, um bebê da cidade de Medellín (Colômbia) foi salvo graças a transfusão realizada com o sangue de um doador cearense. O sangue doado é de um tipo raro chamado “hh” ou fenótipo Bombaim. A paciente é uma menina de um ano e dois meses que apresentava sangramento digestivo grave.

O sangue raro foi identificado em um jovem cearense de 23 anos. No Brasil, apenas 11 famílias possuem esse tipo de sangue, de acordo com a Secretaria da Saúde. Na Índia a prevalência desse fenótipo é de um a cada 10 mil e na Europa, um a cada um milhão. Ser eficiente para a enzima H não provoca doenças, mas se for necessário realizar uma transfusão sanguínea, pessoas só poderão receber sangue de outros doadores que também são deficientes para a enzima H. De acordo com a Organização Pan-Americana da Saúde (OPAS), o Ceará é o primeiro estado brasileiro a realizar o envio internacional de sangue raro para doação.

Disponível em: <<https://g1.globo.com/ceara/noticia/sangue-raro-presente-em-apenas-11-familias-brasileiras-salva-bebe-na-colombia.ghtml>>. Acesso em: jan. 2019.

TRANSFUSÕES SANGUÍNEAS

A transfusão sanguínea é um procedimento no qual há transferência de sangue, de algum elemento figurado ou de plasma de um doador para o receptor, na tentativa de aumentar a capacidade de transporte de oxigênio, equilibrar o volume sanguíneo, aumentar a imunidade ou corrigir

algum distúrbio no processo de coagulação sanguínea. Portanto, pessoas que sofreram algum acidente, perderam um volume muito grande de sangue ou tiveram algum tipo de anemia necessitam de transfusão sanguínea.

Para ser doador, é preciso que o indivíduo esteja em pleno estado de saúde e, por isso, são realizados muitos exames e um breve questionário sobre hábitos de vida. Pessoas que têm ou tiveram hepatite, câncer, asma grave, malária, aids, algum distúrbio hemorrágico ou alguma cardiopatia são desqualificadas como doadoras permanentemente, ou seja, jamais poderão doar sangue, uma vez que são consideradas um potencial de risco para o receptor.

Em geral, a média de volume sanguíneo a ser doado é de 450 ml por pessoa. Uma vez retirado do doador, o sangue é vedado em bolsas plásticas com anticoagulantes, refrigerado e pode ser utilizado em até 42 dias. Os eritrócitos podem ser armazenados por até 10 anos.

Uma bolsa de sangue de 450 ml contém, além do sangue integral, plasma e elementos figurados que podem ser utilizados de maneira específica. A doação de sangue, portanto, é usada em transfusão e também auxilia pacientes em condições diversas.



JANEKWDIGETTY IMAGES

Jovem durante o procedimento de doação de sangue.

LEITURA COMPLEMENTAR

As polêmicas transfusões de sangue para retardar a velhice são moda entre milionários nos EUA

Durante o século XIX, um cientista francês chamado Paul Bert costurou duplas de roedores para que compartilhassem o fluxo sanguíneo. A partir desse experimento, ele verificou que camundongos mais velhos começaram a mostrar sinais de rejuvenescimento, ou seja, facilidade em aprendizagem, agilidade e processo de cicatrização mais rápida.

Anos mais tarde, pesquisadores de universidades americanas, como Harvard e Stanford, decidiram dar continuidade ao estudo iniciado pelo francês e, assim, foi criada a técnica conhecida como parabiose. Essa técnica foi adaptada por empresas na Califórnia para aplicação em humanos, a fim de promover o rejuvenescimento.

Em 2016, Jesse Karmazin, graduado em Medicina na Universidade de Stanford, fundou uma *startup* que tinha o objetivo de investigar os efeitos do sangue de pessoas mais jovens no combate a doenças relacionadas ao envelhecimento. Foram utilizados dados de 150 pessoas com idade entre 35 e 80 anos que pagaram em torno de oito mil dólares pelo tratamento, recebendo apenas plasma de pessoas mais jovens, e os resultados foram benéficos. “Acreditamos que o tratamento é exitoso,

reverte o envelhecimento e funciona para uma série de males associados a velhice, como doenças cardíacas, diabetes e Alzheimer.”

Por outro lado, pesquisadores da comunidade científica têm preocupações em relação a isso, uma vez que o plasma pode conter vírus e outros elementos desconhecidos. Sendo assim, esse tratamento apresenta fatores de risco para a população idosa, uma vez que se trata de uma população que apresenta saúde debilitada.

Outro exemplo é a empresa Alkahest, fundada por neurocientistas, que em 2017 realizou testes com pessoas que sofrem de Alzheimer. Segundo os estudos, os pacientes apresentaram melhoras no desenvolvimento de tarefas do cotidiano, além de demonstrarem estar mais conscientes, embora os resultados sejam preliminares e necessitem de novos estudos.

O problema de existir *startups* com essa ideia é que o surgimento de visionários que buscam o elixir da juventude pode prejudicar as pesquisas biomédicas tradicionais sérias e, além disso, não há nenhum sinal de que a ciência esteja perto de descobrir de fato a fórmula do rejuvenescimento.

Disponível em: <<https://www.bbc.com/portuguese/geral-43034122>>. Acesso em: jan. 2019. (Adaptado.)

ROTEIRO DE AULA

HERANÇAS DO GRUPO SANGUÍNEO: SISTEMA ABO

SANGUE

plasma

composto de água, anticorpos, íons, glicose etc

Elementos figurados

Leucócitos ou glóbulos brancos

Trombócitos ou plaquetas

eritrócitos, glóbulos vermelhos ou hemácias

Podem ter anticorpos denominados

aglutininas

Podem ter antígenos na membrana denominados

aglutinogênios

TIPOS SANGUÍNEOS

A

Possui aglutinogênio

A

e aglutinina

anti-B

B

Possui aglutinogênio

B

e aglutinina

anti-A

AB

Possui aglutinogênio

A e B

e aglutinina

nenhuma

Receptor universal

O

Possui aglutinogênio

nenhum

e aglutinina

anti-A e anti-B

Doador universal

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. Sistema Dom Bosco – O tipo de sangue indicado na bolsa de doação ilustrada abaixo pode ser utilizado para doação em indivíduos que pertençam aos grupos sanguíneos:



- a) A ou O.
- b) AB ou B.
- c) O ou AB.
- d) A ou AB.
- e) A ou B.

Sangue do tipo A pode ser doado apenas para indivíduos dos grupos sanguíneos A ou AB, por apresentar aglutinogênio tipo A e aglutinina anti-B.

2. UFRGS – Assinale a alternativa que preenche corretamente as lacunas do texto abaixo, na ordem em que aparecem.

Pessoas que pertencem ao grupo sanguíneo A têm na membrana plasmática das suas hemácias _____ e no plasma sanguíneo _____. As que pertencem ao grupo sanguíneo O não apresentam _____ na membrana plasmática das hemácias.

- a) aglutinina anti-B – aglutinina anti-A e anti-B – aglutinogênio
- b) aglutinogênio A – aglutinina anti-B – aglutinogênio
- c) aglutinogênio B – aglutinogênio A e B – aglutinina anti-A e anti-B
- d) aglutinina anti-A – aglutinogênio B – aglutinina anti-A e anti-B
- e) aglutinina anti-A e anti-B – aglutinogênio A – aglutinina anti-B

Pessoas do grupo sanguíneo A apresentam aglutinogênio A na membrana das hemácias e aglutinina anti-B no plasma. Indivíduos do grupo sanguíneo O não possuem aglutinogênios na membrana das hemácias, mas apresentam aglutininas anti-A e anti-B.

3. Sistema Dom Bosco – Fernando possui tipo sanguíneo O, e Paula possui tipo sanguíneo A. O primeiro filho deles, Hugo, possui tipo O. Paula está grávida novamente, de uma menina. Com base nessas informações, qual a probabilidade de a menina ter sangue tipo A?

Hugo é do tipo O, sendo seu genótipo obrigatoriamente ii, assim como

Fernando. Paula, por ser do tipo A, tem o alelo I^A e, como tem um filho do

tipo O, também tem um alelo i. Sendo assim, os genótipos de Fernando

e Paula são, respectivamente, ii e I^Ai. Ao realizarmos o cruzamento entre

os genótipos deles, temos: I^Ai × ii = 50% I^Ai e 50% ii. Portanto, há 50%

de probabilidade de a menina ter sangue tipo A.

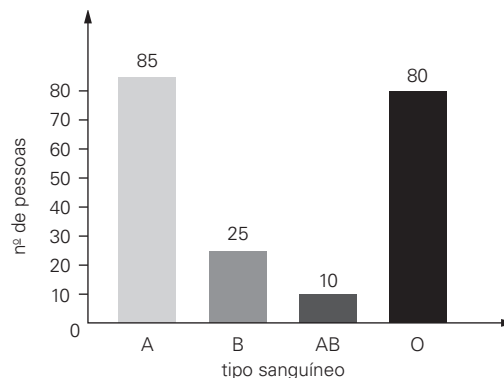
4. Sistema Dom Bosco – O sangue do tipo O é considerado relativamente raro em comparação com os outros tipos sanguíneos. Estima-se que 1 a cada 15 indivíduos apresentem o tipo O, o que corresponde a 6% da população. No entanto, essa proporção varia nos diferentes grupos étnicos. Entre caucasianos, por exemplo, corresponde a 8% da população. Entre afro-americanos, de 4%.

Sobre o tipo sanguíneo citado, é correto afirmar que

- a) é considerado receptor universal.
- b) apresenta aglutinogênios A e B.
- c) não apresenta aglutininas.
- d) apresenta aglutininas anti-A e anti-B.
- e) apresenta apenas um tipo de aglutinina.

A alternativa A está incorreta porque o receptor universal é o sangue tipo AB. A alternativa B está incorreta porque o sangue O não apresenta nenhum tipo de aglutinogênio. A alternativa C está incorreta porque o sangue O apresenta aglutininas anti-A e anti-B. A alternativa E está incorreta porque o tipo sanguíneo O apresenta os dois tipos de aglutinina.

5. PUC-SP – Na figura abaixo é mostrado o número de diferentes tipos sanguíneos do sistema ABO, em 200 pessoas analisadas:



Após análise dos dados, pode-se afirmar que as hemácias de apenas

- a) 90 dessas pessoas poderiam ser doadas para um receptor portador de aglutinogênios A e B.

- b) 25 dessas pessoas poderiam ser doadas para um receptor portador de aglutinina anti-A.
- c) 85 dessas pessoas poderiam ser doadas para um receptor portador de aglutinogênio A.
- d) 80 dessas pessoas poderiam ser doadas para um receptor portador de aglutininas anti-A e anti-B.**

A alternativa A está incorreta, porque indivíduos com aglutinogênios A e B são do tipo sanguíneo AB e recebem sangue dos grupos AB, A, B e O, ou seja, podem receber de todas as pessoas (200 indivíduos). A alternativa B está incorreta, porque quem apresenta aglutinina anti-A são pessoas do tipo sanguíneo B e recebem sangue apenas dos grupos B e O, totalizando 105 indivíduos (25 + 80). A alternativa C está incorreta, porque quem tem aglutinogênio A são pessoas do tipo sanguíneo A e, portanto, recebem sangue apenas dos grupos A e O, totalizando 165 indivíduos (85 + 80). A alternativa D está correta, porque quem apresenta aglutinina anti-A e anti-B são pessoas do tipo sanguíneo O e recebem sangue somente do grupo O, totalizando 80 indivíduos.

6. Sistema Dom Bosco

C4-H13

Jorge possui tipo sanguíneo AB, e Raquel possui tipo sanguíneo A e pretendem ter um bebê. O pai de Raquel tem tipo sanguíneo O. Qual é a probabilidade de o bebê ter o mesmo tipo sanguíneo que o avô materno?

Jorge apresenta genótipo $I^A I^B$. Raquel é do tipo A, então possui o alelo I^A . Como seu pai é do tipo O (genótipo ii), ela tem obrigatoriamente

o alelo i , sendo seu genótipo $I^A i$. Ao realizarmos o cruzamento entre esses genótipos, temos: $I^A I^B \times I^A i = 25\% I^A I^A$, $25\% I^A i$, $25\% I^B i$, 25%

$i i$. Portanto, não há como o bebê ter tipo sanguíneo O, pois não é possível haver um genótipo ii tendo em vista os genótipos parentais.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionan-

do conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Reconhecer mecanismos de transmissão da vida, prevendo ou explicando a manifestação de características dos seres vivos.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. Fatec-SP – Durante a Idade Média, era comum o procedimento chamado transfusão de braço a braço, no qual uma pessoa tinha uma de suas artérias do braço conectada diretamente, por meio de um tubo, à veia de outra pessoa. Muitos pacientes faleciam ao receber a transfusão de sangue dessa forma, devido ao desconhecimento, na época, das complicações relacionadas à incompatibilidade de sangues no sistema ABO. Considere que um médico desse período estivesse com um paciente necessitado urgentemente de uma transfusão de sangue e que havia cinco indivíduos à disposição para fazer doação, via transfusão braço a braço. Suponha que os tipos sanguíneos das pessoas envolvidas nessa situação eram os seguintes:

Paciente: tipo sanguíneo A

Indivíduo 1: tipo sanguíneo O

Indivíduo 2: tipo sanguíneo AB

Indivíduo 3: tipo sanguíneo B

Indivíduo 4: tipo sanguíneo B

Indivíduo 5: tipo sanguíneo A

Se o médico tivesse de escolher aleatoriamente um dos cinco indivíduos para realizar a transfusão, a probabilidade de que o paciente recebesse um sangue compatível, com relação ao sistema ABO, seria de:

- a) 20% d) 80%
- b) 40% e) 100%
- c) 60%

8. PUC-SP (adaptada) – No locus referente ao sistema sanguíneo ABO, há três alelos, normalmente representados por I^A , I^B e i . Da combinação desses alelos, há seis genótipos possíveis na população humana. Com relação a esse sistema sanguíneo, foram feitas cinco afirmações. Assinale a única correta.

- a) Pessoas com genótipo ii poderão receber, sem problemas de aglutinação, hemácias de pessoas pertencentes aos grupos A e B.

b) Uma mulher do grupo A heterozigota poderá ter, com um homem do grupo B também heterozigoto, filhos dos grupos A, AB e O.

c) Trata-se de um caso de alelos múltiplos e cada pessoa poderá apresentar até três alelos no mesmo locus.

d) Um casal que pertence ao grupo O poderá ter filhos pertencentes ao grupo AB.

e) Pessoas que apresentam simultaneamente os alelos I^A e I^B têm aglutininas anti-A e anti-B no plasma.

9. UERR (adaptada) – Um homem do grupo sanguíneo B, cuja mãe era do tipo sanguíneo O, deseja ter filhos com uma mulher do tipo sanguíneo AB. Qual é a probabilidade de que os filhos venham a ter o mesmo tipo sanguíneo do pai?

- a) 80% d) 25%
- b) 75% e) 0%
- c) 50%

10. Sistema Dom Bosco – Janaína sempre suspeitou ser filha adotiva, por não ser parecida fisicamente com seus familiares. Em uma das aulas de Biologia no colégio, ela aprendeu a calcular a probabilidade genética dos grupos sanguíneos e, baseando-se nisso, tentou sanar sua dúvida. Ela possui tipo sanguíneo O, enquanto seus pais possuem tipo sanguíneo A. Entretanto, seus irmãos Anderson, Pedro e Telma possuem, respectivamente, os tipos sanguíneos O, A e A. A partir dessas informações, justifique se Janaína é filha adotiva ou não.

- 11. UEFS-BA (adaptada)** – Após o erro do funcionário de uma maternidade, ocorreu uma troca nas pulseiras de identificação dos recém-nascidos que se encontravam no berçário. A filiação de uma recém-nascida do tipo A é reivindicada por cinco casais, sendo que todas as supostas mães possuem sangue tipo O. Considerando-se os cinco casais quanto aos grupos sanguíneos paterno e materno, é correto afirmar que o pai deverá ter
- sangue tipo O.
 - sangue tipo B, com genótipo homocigoto.
 - sangue tipo B, com genótipo heterocigoto.
 - sangue tipo AB.

- 12. Unicentro-PR** – Um indivíduo faleceu devido a uma transfusão sanguínea. O pai desse indivíduo pertencia ao grupo sanguíneo A homocigoto e a mãe ao grupo AB. Com base nessas informações, considere as afirmativas a seguir:

- O sangue que provocou a morte do indivíduo pode ser do grupo O.
- O sangue que provocou a morte do indivíduo pode ser do grupo A.
- O sangue que provocou a morte do indivíduo pode ser do grupo B.
- O sangue que provocou a morte do indivíduo pode ser do grupo AB.

Assinale a alternativa correta.

- Somente as afirmativas I e II estão corretas.
- Somente as afirmativas I e IV estão corretas.
- Somente as afirmativas III e IV estão corretas.
- Somente as afirmativas I, II e III estão corretas.
- Somente as afirmativas II, III e IV estão corretas.

- 13. UFSM-RS** – Para os grupos sanguíneos do sistema ABO, existem três alelos comuns na população humana. Dois (alelos A e B) são codominantes entre si e o outro (alelo O) é recessivo em relação aos outros dois. De acordo com essas informações, pode-se afirmar:

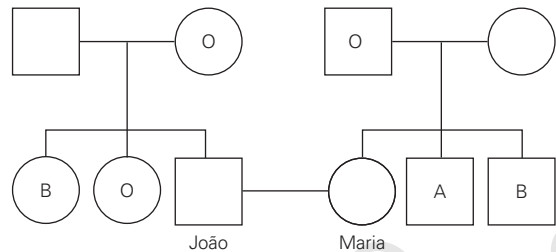
- Se os pais são do grupo sanguíneo O, os filhos também serão do grupo sanguíneo O.
- Se um dos pais é do grupo sanguíneo A e o outro é do grupo sanguíneo B, todos os filhos serão do grupo sanguíneo AB.
- Se os pais são do grupo sanguíneo A, os filhos poderão ser do grupo sanguíneo A ou O.

Está(ão) correta(s):

- apenas I.
- apenas II.
- apenas III.
- apenas I e III.
- I, II e III.

- 14. Sistema Dom Bosco** – Em caso de falta de estoque de outros grupos sanguíneos em um hemocentro, o sangue tipo O pode ser recebido por qualquer outro tipo de grupo sanguíneo. Como isso é possível? Explique.

- 15. Unesp** – O heredograma mostra os tipos sanguíneos do sistema ABO de alguns familiares de João e Maria.



A probabilidade de João e Maria terem uma criança com o mesmo tipo sanguíneo da mãe de Maria é:

- 1/8
- 1/2
- 1/4
- 1/16
- 1/32

- 16. UPF-RS (adaptada)** – Carlos e Juliana tiveram três filhos: um menino com tipo sanguíneo AB, um menino com tipo sanguíneo O e uma menina com tipo sanguíneo B. Considerando os fenótipos dos filhos, podemos concluir que:

- Carlos tem tipo sanguíneo AB e Juliana tem tipo sanguíneo B.
- Um deles tem tipo sanguíneo A e o outro tem tipo sanguíneo B.
- Juliana tem tipo sanguíneo O e Carlos tem tipo sanguíneo B.
- Ambos têm tipo sanguíneo AB.
- Juliana tem tipo sanguíneo A e Carlos tem tipo sanguíneo O.

- 17. Unesp (adaptada)** – Dois casais têm, cada um, quatro filhos. Quando consideramos os tipos sanguíneos do sistema ABO, os filhos do casal Rocha possuem tipos diferentes entre si, assim como os filhos do casal Silva. Em um dos casais, marido e mulher têm tipos sanguíneos diferentes, enquanto no outro casal, marido e mulher têm o mesmo tipo sanguíneo. Um dos casais tem um filho adotivo, enquanto os quatro filhos do outro casal são biológicos. Um dos casais teve um par de gêmeos bivitelinicos, enquanto os quatro filhos do outro casal têm idades diferentes. Considerando-se os tipos sanguíneos do sistema ABO, cite os possíveis genótipos de cada casal e indique qual casal tem um filho adotivo.

ESTUDO PARA O ENEM

18. Enem

C4-H13

Antes de técnicas modernas de determinação de paternidade por exame de DNA, o sistema de determinação sanguínea foi amplamente utilizado como ferramenta para excluir possíveis pais. Embora restrito à análise fenotípica, era possível concluir a exclusão de genótipos também. Considere que uma mulher teve um filho cuja paternidade estava sendo contestada. A análise do sangue revelou que ela era do tipo sanguíneo AB e o filho, do tipo sanguíneo B. O genótipo do homem, pelo sistema ABO, que exclui a possibilidade de paternidade desse filho, é:

- a) $I^A I^A$ c) $I^B I^B$ e) ii
 b) $I^A i$ d) $I^B i$

19. Enem

C4-H13

Em um hospital havia cinco lotes de bolsas de sangue, rotulados com os códigos I, II, III, IV e V. Cada lote continha apenas o tipo sanguíneo não identificado. Uma funcionária do hospital resolveu fazer uma identificação utilizando dois tipos de soro, anti-A e anti-B. Os resultados obtidos estão descritos no quadro.

Código dos lotes	Volume de sangue (L)	Soro anti-A	Soro anti-B
I	22	não aglutinou	aglutinou
II	25	aglutinou	não aglutinou
III	30	aglutinou	aglutinou
IV	15	não aglutinou	não aglutinou
V	33	não aglutinou	aglutinou

Quantos litros de sangue eram do grupo sanguíneo do tipo A?

- a) 15
 b) 25
 c) 30
 d) 33
 e) 55

20. Sistema Dom Bosco

C4-H13

Há um tempo, Ana saiu com alguns meninos e, como não usaram nenhum método anticoncepcional, engravidou. Ana é do tipo sanguíneo A e o bebê do tipo O. Dentre os possíveis pais biológicos, Bruno é do tipo A, e seu pai, do tipo O. Diego tem tipo sanguíneo B, mas seus pais alegaram que a criança não pode ser dele porque toda a família apresenta tipo sanguíneo B. Maurício e Rafael são do tipo AB. Túlio é do tipo A e toda a sua família também é do mesmo tipo sanguíneo.

Portanto, o pai biológico da criança é

- a) Bruno.
 b) Diego.
 c) Maurício.
 d) Túlio.
 e) Rafael.

HERANÇAS DOS GRUPOS SANGUÍNEOS: SISTEMA RH E SISTEMA MN

36

Em 2015, pesquisadores da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT) realizaram um levantamento de doadores de sangue com o intuito de identificar a frequência de alelos do sistema ABO e Rh, a fim de determinar qual o tipo sanguíneo prevalente nas doações e comparar os dados com os de outras regiões do país. Foram utilizadas amostras de sangue de 2477 indivíduos, coletadas entre janeiro e dezembro de 2015, em Rondonópolis (MT).

O grupo sanguíneo mais frequente foi o tipo O, que representou 53% dos doadores, seguido do grupo A com 32%, do grupo B com 12% e do grupo AB com 3%. De acordo com os pesquisadores, esse resultado foi semelhante ao de trabalhos realizados em outros municípios do Mato Grosso e também na cidade de São Paulo (SP). Foi similar também aos da população brasileira como um todo, uma vez que pesquisas realizadas em 2003 demonstraram a prevalência dos tipos O e A, que totalizam 87%, B (10%) e AB (3%).

Em relação à frequência alélica do sistema ABO, verificou-se que o alelo mais presente na população foi o alelo i , com 73%, seguido dos alelos I^A e I^B , com frequências de 19,5% e 7,5%, respectivamente.

Para o sistema Rh, aproximadamente 87% dos doadores apresentaram fenótipo Rh positivo (Rh^+), e 13%, Rh negativo (Rh^-). Essa proporção é semelhante à da população mundial, na qual 85% das pessoas apresentam fenótipo Rh^+ , e 15%, Rh^- . Em relação à frequência alélica do sistema Rh, o gene dominante aparece com frequência igual a 64%, enquanto o gene recessivo é frequente em 36% dos doadores, sendo que o genótipo mais presente é de heterozigotos (aproximadamente 41% dos doadores).

Segundo a Sociedade Internacional de Transfusão de Sangue, existem, em geral, mais de 36 sistemas sanguíneos na população mundial, e os mais importantes para a medicina e para pesquisadores da área de imunologia são os sistemas ABO, Rh e MN.

- Sistema Rh
- Sistema MN

HABILIDADES

- Compreender como foi descoberto o sistema Rh e como é feita sua determinação genética.
- Explicar como funciona a incompatibilidade entre grupos sanguíneos do sistema Rh.
- Identificar e explicar fenômenos relacionados ao sistema Rh, como efeito Bombaim e eritroblastose fetal.
- Compreender o que é o sistema MN, sua determinação genética e sua importância clínica.



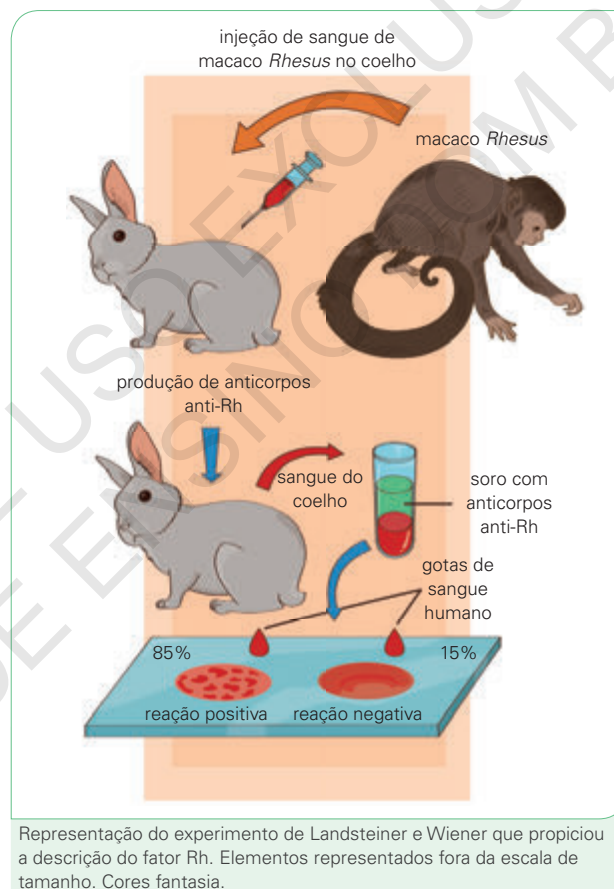
ALEXANDER TRAKSEL/DREAMSTIME.COM

Amostras de sangue pipetadas em microtubos para a realização de análises.

SISTEMA RH

Na década de 1940 os cientistas Karl Landsteiner (1868-1943) e Alexander Solomon Wiener (1907-1976) desenvolveram um experimento no qual injetaram sangue de macacos do gênero *Rhesus* em coelhos e isolaram um anticorpo que reagiu com uma proteína presente na membrana das hemácias. Esse anticorpo foi, então, denominado fator Rh, em referência à espécie de macaco na qual foi encontrado, atualmente denominada *Macaca mullata*.

Os pesquisadores colocaram os anticorpos desses coelhos em contato com o sangue humano e notaram que 85% das amostras aglutinavam, o que significa que aqueles também apresentavam o mesmo antígeno que os macacos, sendo, portanto, considerados Rh positivos, enquanto o restante, em que não houve aglutinação (15%), foi denominado Rh negativo por não apresentar o antígeno. O fator Rh manifesta-se apenas quando o indivíduo entra em contato com o antígeno, o que significa que o fator não está presente ou mesmo livre no organismo de modo natural. Pelo contrário, ele é produzido apenas quando entra em contato com o antígeno e induz reações adversas somente em um segundo contato.



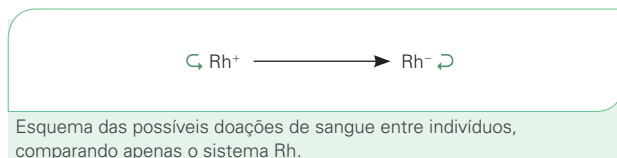
A descoberta do fator Rh foi importante para compreender por que algumas transfusões sanguíneas eram incompatíveis, mesmo quando os envolvidos haviam realizado o teste do sistema ABO. Pessoas Rh-, por não produzirem o fator Rh, identificam-no como agente estranho e, assim, produzem anticorpos anti-Rh quando entram em contato com sangue do tipo Rh+. Ao receberem sangue positivo em uma segunda transfusão, ocorre uma reação antígeno-anticorpo, o que provoca aglutinação do sangue.

Atualmente, sabe-se que não se trata de apenas um fator, mas de um grupo de fatores, razão pela qual se costuma falar em **sistema Rh**.

Pessoas com sangue tipo **Rh+** apresentam fator Rh na membrana das hemácias, enquanto as que têm sangue tipo **Rh-** não apresentam esse fator na membrana das hemácias.

Fenótipos possíveis do fator Rh			
Fenótipo	Genótipos	Aglutinogênio (antígeno)	Aglutinina (anticorpo)
Rh ⁺	RR, Rr	fator rh	não produz anti-rh
Rh ⁻	Rr	ausência do fator rh	pode produzir anti-rh

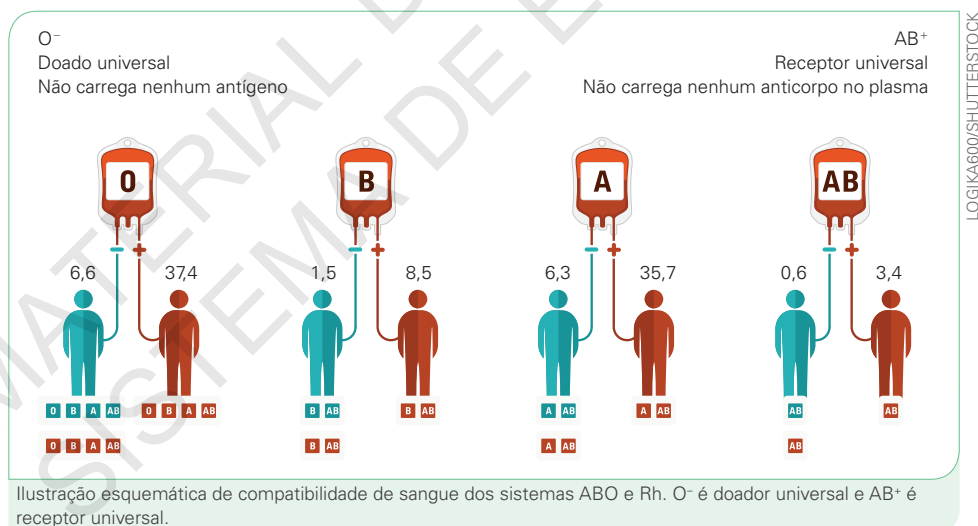
Em transfusões, pessoas com fator Rh⁺ podem doar sangue apenas para outros indivíduos que têm o mesmo antígeno, recebendo sangue tanto de Rh⁺ quanto Rh⁻; e pessoas que apresentam fator Rh⁻ podem doar sangue para indivíduos com tipo sanguíneo semelhante e também para quem possui fator Rh⁺, mas podem receber apenas de pessoas Rh⁻.



Levando em conta o sistema Rh, existe somente um tipo de sangue considerado como doador universal: o sangue tipo O negativo (O⁻), por não conter antígenos do sistema ABO nem do sistema Rh. Do mesmo modo, pessoas com sangue tipo AB⁺ são consideradas receptoras universais, por não produzirem anticorpos anti-A, anti-B e anti-Rh.

Para realizar qualquer transfusão, é necessário que doadores e receptores realizem testes para ambos os sistemas sanguíneos por meio da tipagem sanguínea. Para isso, são colocadas três gotas do sangue em uma lâmina de vidro e, então, adiciona-se uma gota de soro anti-A, uma gota de soro anti-B e uma gota de soro anti-Rh em cada uma delas. Se ocorrer aglutinação, por exemplo, de sangue misturado com anticorpos anti-B e anti-Rh, a pessoa apresenta sangue tipo B⁺.

A seguir, é possível observar o quadro de compatibilidade sanguínea, considerando os sistemas ABO e Rh. O desenho da gota de sangue indica compatibilidade sanguínea entre doador e receptor.



DETERMINAÇÃO GENÉTICA DO SISTEMA RH

A determinação genética do sistema Rh ainda não está muito bem elucidada, principalmente pelo fato de que novos alelos e combinações genóticas continuam sendo descobertos. De forma geral, é possível dizer que o sistema Rh é determinado por três alelos (C, D, E), sendo o alelo D o dominante e mais imunogênico e, por isso,

para fins didáticos, é o único alelo considerado. No entanto, é importante lembrar que o sistema Rh, assim como o sistema ABO, é um caso de alelos múltiplos, de modo que o tipo de herança é autossômico dominante. Portanto, o alelo D (ou R) determina a produção do fator Rh, enquanto o alelo d (ou r) determina a ausência do fator Rh. O quadro a seguir apresenta os possíveis genótipos e fenótipos do sistema Rh.

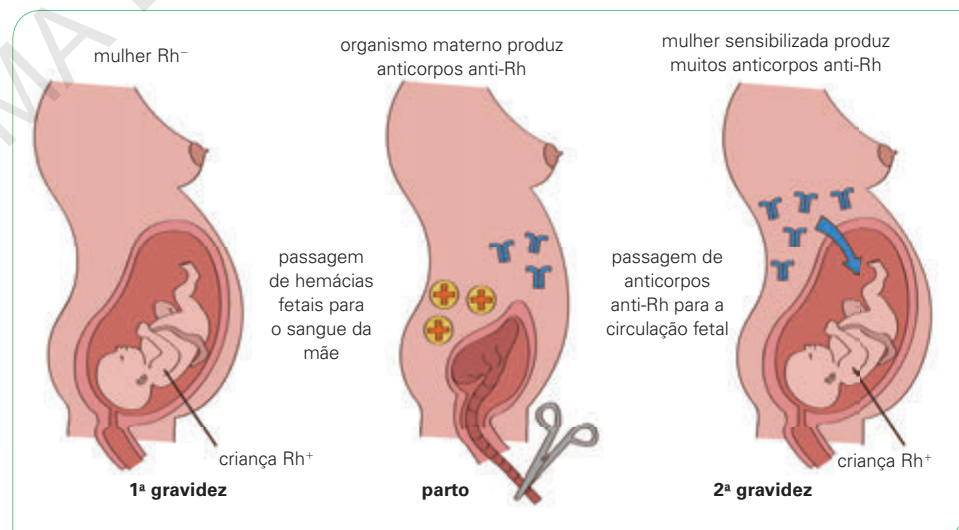
Genótipo	Fenótipo
RR	Rh ⁺
Rr	Rh ⁺
rr	Rh ⁻

ERITROBLASTOSE FETAL

Também conhecida como doença hemolítica do recém-nascido (DHRN), é caracterizada pela destruição das hemácias fetais (hemólise) por anticorpos da mãe. Os anticorpos maternos reconhecem o antígeno produzido pelas hemácias do feto como um corpo estranho e mobilizam o sistema imunológico a fim de destruí-las, o que pode resultar, no feto, em anemia, icterícia (pele e mucosas com coloração amarelada), elevação da frequência cardíaca, aumento do tamanho do baço e fígado, circulação de hemácias jovens no sangue e, em casos mais graves, inchaço (edema) generalizado. Essa doença costuma afetar igualmente ambos os sexos.

Ocorre obrigatoriamente quando o feto é Rh⁺, a mãe, Rh⁻, de modo que o feto apresenta antígenos Rh em suas hemácias, enquanto na mãe estes são ausentes. Durante a gestação, a quantidade de hemácias fetais que passam para a circulação materna não é significativa, mas quando a placenta se desloca, ou até mesmo durante o parto, um pequeno volume de sangue fetal reflui para o corpo da mãe, tornando-a sensibilizada ao antígeno. Assim, será produzido soro anti-Rh, que permanece na circulação da mãe, mesmo após a gestação.

A sensibilização da mãe é o primeiro contato do organismo com o antígeno do feto e a deflagração de uma resposta do sistema imunológico por meio da produção de anticorpos específicos. Essa resposta é guardada em células de memória do sistema imunológico de modo que, na ocasião de um segundo contato com os antígenos, seja produzida uma resposta muito mais rápida e intensa que no primeiro contato com os antígenos. Por esse motivo, em geral, a primeira criança nasce normal, e os sinais e sintomas da doença só se manifestam a partir da segunda gestação e as consequências são mais graves à medida que a sensibilização da mãe e a produção de anticorpos aumentam.



Os anticorpos anti-Rh produzidos pelo sistema imunológico da mãe na primeira gestação são produzidos de maneira mais rápida e intensa na segunda. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Entretanto, caso o pai seja Rh⁺ heterozigoto (genótipo Rr), a probabilidade de ocorrência da doença cai para 50% em razão da presença de um alelo r, responsável pela ausência do fator Rh. Isso acontece porque 50% dos genótipos produzidos pelo casal serão Rh⁺, e 50%, Rh⁻, conforme mostrado no cruzamento a seguir:

		Mãe	
		r	r
Pai	R	Rr (Rh ⁺)	Rr (Rh ⁺)
	r	rr (Rh ⁻)	rr (Rh ⁻)

Atualmente, na maioria dos hospitais, mulheres Rh⁻ com filhos Rh⁺ recebem injeções de anticorpos anti-Rh padronizados para destruir as hemácias Rh⁺ que a criança passa à mãe e, assim, é evitada a sensibilização do sangue materno. Dessa forma, as hemácias transmitidas são logo destruídas pela ação do soro, o que impede que o sistema imunológico da mãe produza células de memória para os antígenos do bebê. Assim, ela não é capaz de produzir anticorpos anti-Rh e, na próxima gestação, o feto não corre risco de desenvolver a doença. O recomendado é que a mãe receba a injeção até 72 horas após o parto da criança Rh⁺. A incompatibilidade natural entre os tipos sanguíneos do sistema ABO reduz os casos de eritroblastose fetal.

Por exemplo, se a mãe tiver sangue tipo O, e a criança, tipo sanguíneo A, o sangue materno produz anticorpo anti-A, destruindo as hemácias do feto que chegam à corrente sanguínea. Isso evita a produção de anticorpos do sistema Rh pela mãe e automaticamente não permite que a doença ocorra.

SISTEMA MN

Em 1927, Landsteiner descobriu outros dois antígenos na membrana dos glóbulos vermelhos, os quais chamou de **M** e **N**. Ao serem aplicados em cobaias, eles produziam anticorpos anti-M e anti-N, respectivamente.

Esses antígenos não provocam nenhuma reação de incompatibilidade durante as transfusões, mas podem ser úteis na identificação de pessoas ou em investigações de paternidade. A presença desses antígenos é determinada por um par de alelos (L^M e L^N), no qual o tipo de herança é a codominância. Os genótipos apresentam os seguintes fenótipos, conforme quadro a seguir:

Genótipo	Fenótipo
L ^M L ^M	Grupo M
L ^M L ^N	Grupo MN
L ^N L ^N	Grupo N

ROTEIRO DE AULA

HERANÇA DOS GRUPOS SANGUÍNEOS

Sistema RH

Sangue com fator Rh⁺ não produz:

aglutinina (anticorpo) anti-Rh

possui antígenos Rh na membrana das hemácias

Sangue tipo Rh⁻

pode produzir aglutinina anti-Rh

não possui antígenos Rh na membrana das hemácias

Eritroblastose fetal

tipo sanguíneo da mãe

Rh⁻

tipo sanguíneo do feto

Rh⁺

mãe produz anti-Rh, que pode destruir as hemácias do segundo filho

Sistema MN

Sangue tipo M

produz antígenos

M

alelo responsável

L^M

Sangue tipo N

produz antígenos:

N

alelo responsável

L^N

Sangue tipo MN

produz antígenos

M e N

alelo(s) responsáveis

L^M e L^N

L^N e L^N

tipo de herança:

codominância

Importância forense

identificação de pessoas

investigação de paternidade

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. UCS-RS (adaptada) – Os grupos sanguíneos do sistema MN – caracterizados por dois tipos de aglutinogênios nas hemácias: o antígeno M e o antígeno N – produzem três tipos de fenótipos. Assinale a alternativa que corresponde aos possíveis genótipos.

- a) A; AB; O.
b) L^{MLM} ; L^{MLN} ; L^{NLN} .
 c) Anti-A; anti-B; anti- AB.
 d) Anti-M; Anti-MN; Anti-NN.
 e) Aglutina em contato com antígeno M; aglutina em contato com antígeno N; não aglutina.

Os possíveis genótipos para o sistema MN podem ser representados conforme indicado na alternativa B ou ainda como: L^{MLM} ; L^{MLN} e L^{NLN} . As alternativas A e C estão incorretas, porque, além de não serem genótipos, referem-se ao sistema ABO. A alternativa D está incorreta, porque se refere ao anticorpo produzido para combater os antígenos produzidos pelo sistema MN. A alternativa E está incorreta, porque se refere aos anticorpos contra o sistema MN: anti-M, anti-N.

2. UEMG-MG – Ana Júlia está superpreocupada porque ouviu dizer que, sendo ela Rh^- , e seu namorado Emílio Rh^+ , não poderiam ter filhos, porque senão estes nasceriam com a doença hemolítica eritroblastose fetal, que os mataria logo após o nascimento.

Do ponto de vista biológico, o melhor aconselhamento que poderia ser dado para Ana Júlia seria:

- a) Não se preocupe porque a informação está totalmente incorreta. O risco de nascer bebês com a doença hemolítica eritroblastose fetal só existiria se vocês dois fossem Rh^- .
 b) Realmente, o que você ouviu dizer está correto e vocês não podem ter filhos, porque todos eles apresentariam a doença hemolítica eritroblastose fetal e morreriam durante a gestação ou logo após o parto.
 c) Não se preocupe porque a informação está completamente errada. O risco de nascer criança com a doença hemolítica eritroblastose fetal não está relacionado com o fator Rh, mas com o fator ABO, podendo ocorrer quando o pai for do grupo AB e a mãe O.
d) Realmente, esta situação favorece a ocorrência de eritroblastose fetal em bebês que sejam Rh^+ . Porém, vocês podem perfeitamente se casar e ter filhos, desde que seja feito um pré-natal adequado, com acompanhamento médico, que deverá tomar todas as medidas de profilaxia ou tratamento, se for necessário.

A eritroblastose fetal ocorre quando a mãe é Rh^- e o filho é Rh^+ . As células sanguíneas do filho passam para a corrente sanguínea materna, sensibilizando-a, de forma que a mãe começa a produzir anti-Rh. Se ela engravidar novamente e o bebê for Rh^+ , o anti-Rh produzido por ela poderá atacar as células sanguíneas do bebê. Entretanto, a doença pode ser prevenida se na primeira gravidez a mãe tomar uma injeção com anti-Rh para destruir as células sanguíneas do bebê que estão em sua corrente sanguínea, de forma que ela não será sensibilizada e não produzirá anti-Rh.

3. Unesp (adaptada) – Sílvio e Fátima têm três filhos, um deles fruto do primeiro casamento de um dos cônjuges. Sílvio é de tipo sanguíneo AB Rh^- e Fátima de tipo O Rh^+ . Dentre os filhos, Paulo é de tipo sanguíneo A Rh^+ . Mário é de tipo B Rh^- e Lucas é do tipo AB Rh^+ . Com base nessas informações, quem é o filho originado no primeiro casamento? Filho de quem? Explique como você chegou a essa conclusão.

Lucas apresenta sangue tipo AB+ (genótipo IAIB, R_L). Sabendo que

Sílvio tem genótipo IAIB, rr; e Fátima, IiIi, R_L, sabemos que Lucas não

pode ser filho de Fátima, uma vez que ela produz apenas gametas do

tipo Ii. Sendo assim, ele é filho de Sílvio, do primeiro casamento.

4. UFJF-MG – Um casal (mãe tipo sanguíneo O negativo e pai tipo sanguíneo desconhecido) teve um filho A positivo. O segundo filho, todavia, apresentou sintomas de eritroblastose fetal e faleceu. O exame de sangue da criança resultou no tipo B positivo. Baseando-se nessas informações, qual tipo sanguíneo abaixo seria o do pai?

- a) AB negativo. **d) AB positivo.**
 b) B positivo. **e) O positivo.**
 c) A negativo.

Como os filhos apresentaram tipos sanguíneos A e B e a mãe é O, o pai é AB. Se a mãe é Rh^- , então o alelo do Rh^+ é proveniente do pai.

5. Mackenzie-SP – Uma mulher pertencente ao tipo sanguíneo AB, Rh^+ , tem uma criança pertencente ao tipo B, Rh^- . A criança necessitou de uma transfusão sanguínea quando teve de fazer uma cirurgia, mas nenhum dos pais pôde ser doador. Assinale a alternativa correta.

- a) A criança pode ser homocigota para o gene da tipagem ABO.**
 b) Em uma segunda gestação, pode ocorrer eritroblastose fetal.
 c) O pai certamente é Rh^- .
 d) O pai pertence ao tipo sanguíneo A, obrigatoriamente.
 e) Esse casal não pode ter filhos receptores universais.

A alternativa B está incorreta, porque a eritroblastose fetal acontece quando a mãe possui Rh^- e o filho, Rh^+ . A alternativa C está incorreta, porque o pai pode ser Rr ou rr. A alternativa D está incorreta, porque o pai pode ser de qualquer um dos seguintes tipos sanguíneos: I^Ai, I^Bi ou ii. A alternativa E está incorreta, porque podem, sim, ter filhos receptores universais (AB, Rh^+).

6. UFMS

C4-H13

A herança dos grupos sanguíneos do sistema MN é determinada por

- a) um par de alelos com dominância entre eles.
b) um par de alelos sem dominância entre eles.
 c) um par de alelos em interação com os genes do sistema ABO.
 d) alelos múltiplos em interação com os genes do sistema ABO.
 e) alelos múltiplos sem interação com os genes do sistema ABO.

O sistema MN dos grupos sanguíneos é um caso de codominância. Não há, portanto, interação com os genes do sistema ABO.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Reconhecer mecanismos de transmissão da vida, prevendo ou explicando a manifestação de características dos seres vivos.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. PUC-RS – Amostras de mancha de sangue humano encontrado em um local de crime foram levadas ao laboratório para análise. Ao testar o sangue coletado com os anticorpos Anti-A, Anti-B e Anti-Rh, o resultado foi, respectivamente: aglutinou, aglutinou, não aglutinou. O perito concluiu que o sangue era do tipo

- AB^+ .
- AB^- .
- A^+ ou B^+ .
- A^- ou B^- .
- O^+ ou O^- .

8. UFPA-PA – A eritroblastose fetal, ou doença hemolítica perinatal, consiste na destruição das hemácias do feto (Rh^+) pelos anticorpos da mãe (Rh^-) que ultrapassam lentamente a placenta. Devido a uma destruição maciça das hemácias, o indivíduo torna-se anêmico, e a hemoglobina presente no plasma é transformada no fígado em bilirrubina. Em relação a essa condição, é correto afirmar que

- a mãe (Rh^-) só produzirá anticorpos anti-Rh se tiver uma gestação de uma criança Rh^+ com passagem de hemácias para a circulação materna através da placenta.
- a mãe (Rh^-) poderá produzir anticorpos anti-Rh devido à gestação de uma criança Rh^+ cujas hemácias passaram para a circulação materna, comumente, por ocasião do parto, ou se receber uma transfusão de sangue incompatível (Rh^+).
- a mãe produzirá anticorpos anti-Rh que podem atingir todos os seus filhos Rh^+ , incluindo o feto que primeiro induziu a produção desses anticorpos.
- no caso de mulheres Rh^- que já tenham tido uma gestação anterior Rh^+ e estejam novamente grávidas, é ministrada uma dose da vacina Rhogan por volta da 28ª semana de gestação e outra até 72h após o parto, o que evita, assim, que essa criança, caso seja Rh^+ , tenha eritroblastose fetal.
- o tratamento de bebês que nascem com o problema pode incluir transfusão total de sangue. O bebê recebe sangue Rh^+ , que já não terá mais suas hemácias destruídas pelos anticorpos da mãe presentes no recém-nascido.

9. Cefet-MG (adaptada) – Um estudo sugeriu que os mosquitos *Anopheles gambia* eram especialmente atraídos por sangue do tipo O, positivo ou negativo. Para chegar a essa conclusão, pesquisadores expuseram pares de voluntários com tipos sanguíneos diferentes a 20 mosquitos fêmeas. Eles notaram que, na maioria das vezes, os mosquitos se alimentavam preferencialmente do sangue das pessoas com fenótipo O.

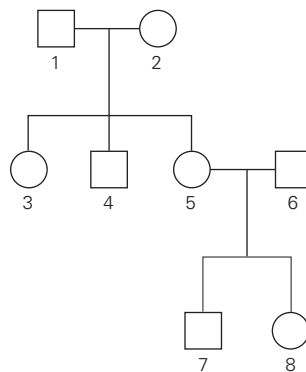
A chance de os filhos de um homem O positivo nascerem, seguramente, menos propensos ao ataque desses insetos é se ele tiver um filho com uma mulher de sangue do tipo

- A^+ .
- O^- .
- O^+ .
- B^- .
- AB^+ .

10. Mackenzie-SP (adaptada) – Uma mulher pertencente ao tipo sanguíneo A^- casa-se com um homem perten-

cente ao tipo B^+ , que nasceu com eritroblastose fetal. O casal tem uma filha pertencente ao tipo O, que também nasceu com eritroblastose fetal. Se essa menina se casar com um homem que possua o mesmo genótipo que o pai, qual a probabilidade de ela ter uma criança doadora universal?

11. UPF-RS (adaptada) – Na espécie humana, o grupo sanguíneo no sistema ABO é uma característica hereditária do tipo polialelia, e o fator Rh é de herança mendeliana, considerando apenas o alelo R. Analise o heredograma de três gerações de uma família apresentado a seguir, no qual o indivíduo 1 é um doador universal e o indivíduo 2 é um receptor universal.



Sobre o grupo sanguíneo e o fator Rh dos membros dessa família, podemos afirmar corretamente que

- o indivíduo 4 não pode ser um doador universal.
- o indivíduo 3 necessariamente apresenta hemácias com aglutinogênios A e B.
- caso o indivíduo 6 também seja um receptor universal, todos os filhos do casal apresentarão os dois tipos de aglutininas: Anti-A e Anti-B.
- o indivíduo 5 pode pertencer ao grupo sanguíneo O e fator Rh^+ .
- se o indivíduo 5 pertencer ao grupo sanguíneo B fator Rh^+ e o indivíduo 6 ao grupo O fator Rh^+ , seus filhos pertencerão ao grupo O ou B, todos obrigatoriamente Rh^+ .

12. Unitaú-SP – A tabela a seguir foi elaborada a partir de testes para determinação dos grupos sanguíneos de seis pessoas de uma academia de ginástica. O sinal positivo (+) significa “aglutina” e o sinal negativo (–) significa “não aglutina”.

NOME	SORO ANTI-A	SORO ANTI-B	SORO ANTI-RH
Amanda	+	+	+
Gustavo	–	–	–
Patrícia	+	–	+
Pedro Luís	–	+	–
Augusto	+	+	–
Cláudio	–	+	+

Após analisar a tabela, assinale a alternativa que indica os grupos sanguíneos de todas as pessoas quanto aos sistemas ABO e Rh, mantendo a sequência disposta na tabela.

- O, Rh⁻ / AB, Rh⁺ / B, Rh⁻ / A, Rh⁺ / O, Rh⁺ / A, Rh⁻.
- O, Rh⁺ / AB, Rh⁻ / B, Rh⁺ / A, Rh⁻ / O, Rh⁻ / A, Rh⁺.
- AB, Rh⁻ / O, Rh⁺ / A, Rh⁻ / B, Rh⁺ / AB, Rh⁺ / B, Rh⁻.
- AB, Rh⁺ / O, Rh⁻ / A, Rh⁺ / B, Rh⁻ / AB, Rh⁻ / B, Rh⁺.
- AB, Rh⁺ / O, Rh⁻ / B, Rh⁺ / A, Rh⁻ / AB, Rh⁻ / A, Rh⁺.

13. Ufam – O sistema ABO de grupos sanguíneos, assim como o sistema Rh, corresponde a diferentes tipos de aglutinogênios encontrados nas hemácias. O sistema ABO envolve alelos múltiplos, formados por 3 genes, I^A, I^B e i, de modo que os tipos sanguíneos A, B, AB e O correspondem, respectivamente, aos genótipos: I^AI^A ou I^Ai; I^BI^B ou I^Bi; I^AI^B e ii. O sistema Rh envolve um par de alelos com dominância completa, sendo os genótipos possíveis o RR, Rr e rr. Acerca do sistema ABO e Rh, analise as afirmativas a seguir.

- Do cruzamento de pais com tipo sanguíneo A⁻ e AB⁺, os possíveis tipos sanguíneos dos filhos serão apenas: A⁻, B⁻ ou AB⁺.
- Quando um dos pais tem sangue AB, jamais um dos filhos poderá ter sangue O e, quando os pais têm sangue O, jamais os filhos terão sangue do tipo A, B ou AB.
- Do cruzamento de pais A⁻ e O⁺, um dos filhos poderá ser do tipo O⁻, que é considerado o doador universal.
- Quando mães Rh⁻ geram filhos Rh⁺, há passagem de sangue do filho para a mãe, de modo que o sangue da mãe passa a produzir anticorpos anti-Rh. Se em uma próxima gravidez o filho for Rh⁺, os anticorpos maternos irão atacar as hemácias do feto, desencadeando uma doença chamada eritroblastose fetal.

Assinale a alternativa correta.

- Somente as afirmativas I, II e III estão corretas.
- Somente as afirmativas I, II e IV estão corretas.
- Somente as afirmativas I e III estão corretas.
- Somente as afirmativas II, III e IV estão corretas.
- Todas as afirmativas estão corretas.

14. UEM-PR – Um homem, portador de aglutinina anti-A, anti-B e Rh negativo, casou-se com uma mulher que não porta aglutinogênio nas hemácias e é Rh positivo. Sabe-se que a mãe dessa mulher não é portadora do fator Rh. Qual a probabilidade desse casal ter uma menina sem aglutinogênio nas hemácias e portadora do fator Rh?

15. Acafe-SC (adaptada) – Na Áustria, no início do século XX, um pesquisador chamado Karl Landsteiner, interessado no estudo sobre transfusão sanguínea, misturou o sangue de diferentes pessoas. O resultado de sua pesquisa foi o melhor possível, pois os perigos devidos à incompatibilidade de sangue entre doador e receptor constituíam, naquela época, uma ameaça muitas vezes mortal. Hoje, os tipos sanguíneos podem ser classificados em vários sistemas, dentre eles o sistema ABO e sistema MN. Em relação ao tema, **não é correto** afirmar que:

- A incompatibilidade sanguínea em transfusões ocorre devido à reação entre o antígeno do doador e os anticorpos do receptor.
- Um homem do grupo sanguíneo A que apresentou eritroblastose fetal ao nascer, filho de uma mulher do grupo O, casou-se com uma mulher do grupo sanguíneo B cujo pai é O. O casal teve três filhos, sendo que o segundo apresentou eritroblastose fetal ao nascer e os demais, normais. Caso o casal tenha mais um filho, a probabilidade de ser menina O negativo é 1/16.
- De acordo com o sistema ABO, indivíduos portadores do alelo I^A apresentam na membrana de suas hemácias aglutinina A; portadores do alelo I^B apresentam aglutinina B; portadores dos dois alelos (I^A e I^B), concomitantemente, possuem as duas aglutininas (A e B); os indivíduos que apresentam o alelo i em homozigose (ii) não possuem nenhum tipo de aglutinina.
- A eritroblastose fetal ocorre devido à incompatibilidade materno-fetal, em que a mãe Rh negativo, após sensibilização, passa a produzir anticorpos anti-Rh, que atacam o filho Rh positivo.

16. FCMSC-SP – Um casal de sangue Rh positivo, cujo genótipo é Rr, tem três filhos também Rh positivo. A probabilidade de o quarto filho de esse casal ter o mesmo fenótipo dos pais e dos irmãos é

- nula.
- 25%.
- 50%.
- 75%.
- 100%

17. Unifenas-MG (adaptada) – Analisando o sangue de diversas pessoas, verificou-se que em algumas existia apenas o antígeno M, em outras, somente o N e várias possuíam os dois antígenos. Foi possível concluir, então, que existiam três grupos nesse sistema: M, N e MN. Os genes que condicionam a produção desses antígenos são apenas dois: L^M e L^N (a letra L é a inicial do descobridor, Landsteiner). O genótipo $L^M L^M$ condiciona a produção do antígeno M, e $L^N L^N$, a do antígeno N. Entre L^M e L^N , pessoas com genótipo $L^M L^N$ produzem os dois tipos de antígenos. Outro sistema de grupos sanguíneos foi descoberto a partir dos experimentos desenvolvidos por Landsteiner e Wiener, em 1940, com sangue de macaco do gênero Rhesus. Simplificando: o gene R, dominante, determina a presença do fator Rh, enquanto o gene r, recessivo, condiciona a ausência do

referido fator. Carol, filha de pai com tipo sanguíneo O^- , N, apresenta tipo sanguíneo A^+ , MN e casou-se com Bruno, que apresenta tipo sanguíneo O^- , M. Qual a probabilidade de eles terem um bebê com o mesmo fenótipo sanguíneo de Bruno?

ESTUDO PARA O ENEM

18. Enem

C4-H13

Um jovem suspeita que não é filho biológico de seus pais, pois descobriu que o seu tipo sanguíneo é O, Rh^- , o de sua mãe é B, Rh^+ e de seu pai é A, Rh^+ . A condição genotípica que possibilita que ele seja realmente filho biológico de seus pais é que

- o pai e a mãe sejam heterozigotos para o sistema sanguíneo e para o fator.
- o pai e a mãe sejam heterozigotos para o sistema sanguíneo e homozigotos para o fator.
- o pai seja homozigoto para as duas características e a mãe seja heterozigota para as duas características.
- o pai seja homozigoto para as duas características e a mãe heterozigota para o sistema e homozigota para o fator.
- o pai seja homozigoto para o sistema e heterozigoto para o fator e a mãe homozigota para as duas características.

19. Enem

C4-H13

Uma mulher deu à luz seu primeiro filho e, após o parto, os médicos testaram o sangue da criança para a determinação de seu grupo sanguíneo. O sangue da criança

era do tipo O^+ . Imediatamente, a equipe aplicou na mãe uma solução contendo anticorpos anti-Rh, uma vez que ela tinha o tipo sanguíneo O^- . Qual é a função dessa solução de anticorpos?

- Modificar o fator Rh do próximo filho.
- Destruir as células sanguíneas do bebê.
- Formar uma memória imunológica na mãe.
- Neutralizar os anticorpos produzidos pela mãe.
- Promover a alteração do tipo sanguíneo materno.

20. Sistema Dom Bosco

C4-H13

O sistema sanguíneo tipo MN é de suma importância nas investigações de paternidade e na identificação de pessoas. Suponha que uma criança tenha tipo sanguíneo O^- , MN, e sua mãe, tipo sanguíneo A^- , M. Entretanto, há dúvidas a respeito de quem seja o pai. O genótipo do pai verdadeiro é

- $I^A I^B$, RR, L^M .
- $I^A I^B$, Rr, L^N .
- $I^A i$, RR, L^N .
- $I^B i$, Rr, L^M .
- $I^B i$, Rr, $L^M L^N$.

SEGUNDA LEI DE MENDEL

37

Estudos indicam que, nas próximas décadas, a produção animal deverá sofrer impactos devido à baixa na disponibilidade de água, à prevalência de doenças e à composição da alimentação. Entre as consequências diretas para a humanidade está a diminuição da oferta de carnes e subprodutos animais (como leite, ovos, manteiga etc.) e, por conseguinte, prejuízos na economia.

Pesquisadores do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP) divulgaram, em 2018, uma pesquisa com gados da raça nelore em que se avaliou quais características da raça possibilitam maior adaptação a mudanças ambientais, como as climáticas.

Com base na análise do genoma e das características fenotípicas, os resultados dessa pesquisa demonstraram que animais robustos (com maior peso e porte) são menos sensíveis a doenças e alterações do ambiente. Ao fazer a seleção artificial dos indivíduos com essas características desejadas e cruzá-los entre si, é possível selecioná-las nas próximas gerações por meio de uma técnica denominada melhoramento genético. Esses cruzamentos contam também com técnicas de mapeamento de características do genoma e manipulações genéticas.

Embora Mendel seja anterior a pesquisas moleculares, foi com base em seus estudos que a Genética pôde avançar a ponto de manipular o genoma de uma espécie. Vale comentar que, apesar de o melhoramento genético trazer vantagens e benefícios, existem inúmeras discussões éticas a respeito desse tipo de interferência genética nos seres vivos.



Gado da raça nelore.

- Análise de cruzamentos
- Relação entre meiose e segunda lei de Mendel
- Probabilidade na segunda lei de Mendel

HABILIDADES

- Interpretar como Mendel chegou às conclusões que levaram à proposição da segunda lei.
- Explicar o conceito de segregação independente de alelos existentes em *loci* diferentes.
- Solucionar problemas genéticos relacionados à probabilidade de adquirir determinadas características simultaneamente.

FERNANDO BRANCO / ALAMY STOCK PHOTO

ANÁLISE DE CRUZAMENTOS

Depois de avaliar detalhadamente algumas características de ervilhas (cor e forma da semente, cor e forma da vagem, cor e posição das flores, tamanho do caule), Mendel passou a estudar dois pares de características de cada vez a fim de compreender se uma poderia estar ligada à outra de alguma maneira. Além de analisar a cor, Mendel considerou a textura das ervilhas. Neste caso, elas eram classificadas em lisas ou rugosas em relação à textura e verdes ou amarelas quanto à cor.

Mendel cruzou ervilhas puras amarelas lisas com ervilhas puras verdes rugosas. Como resultado, na geração F₁, obteve 100% de ervilhas amarelas lisas e concluiu que o caractere amarelo era completamente dominante sobre o caractere verde, assim como o caractere liso era completamente dominante sobre o caractere rugoso.

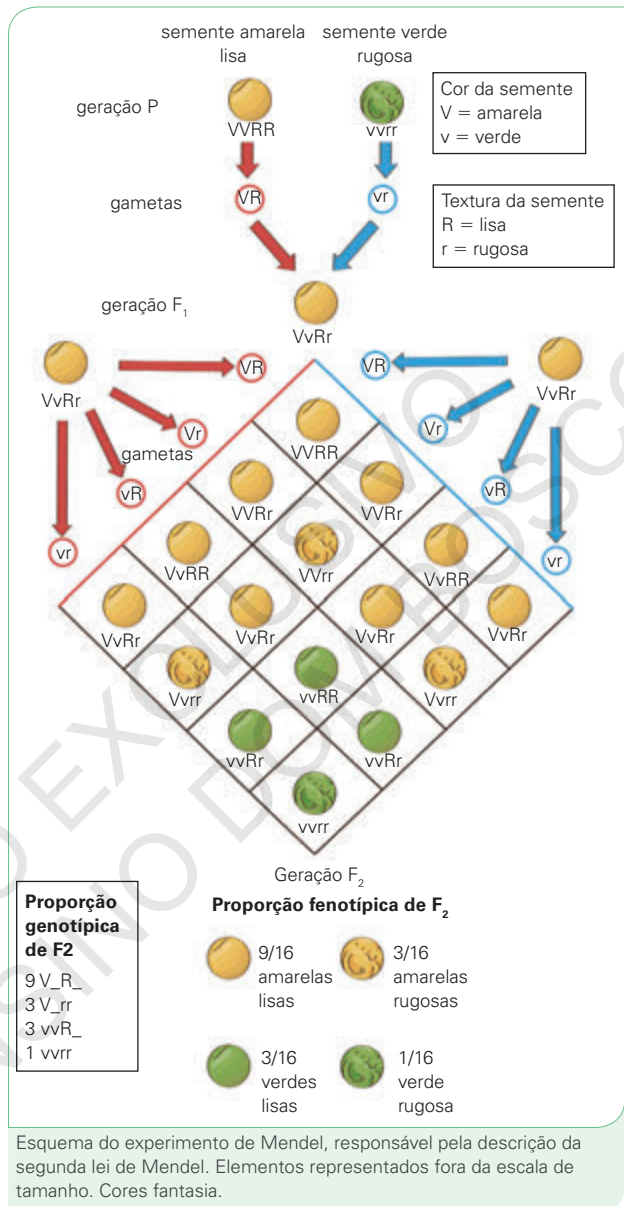
No autocruzamento dos indivíduos da geração F₁, o resultado obtido na geração F₂ foi o seguinte:

- 9/16 ervilhas amarelas lisas;
- 3/16 ervilhas verdes lisas;
- 3/16 ervilhas amarelas rugosas;
- 1/16 ervilha verde rugosa.

Mendel realizou esse experimento diversas vezes e observou que a proporção das características era sempre em torno de **9:3:3:1**. Isso comprovou que sementes lisas podem ser verdes ou amarelas, assim como rugosas podem apresentar a mesma coloração e **uma característica não depende da outra para se manifestar**.

Em outras palavras, isso significa que o par de fatores responsável por uma característica **segrega independentemente** do outro par de fatores responsável pela outra característica. Esta teoria ficou conhecida como segunda lei de Mendel.

Considere que o par de fatores responsável pela cor das ervilhas seja **V** para amarela e **v** para verde e que o par de fatores para a textura das ervilhas seja **R** para lisa e **r** para rugosa. Como a geração parental era composta de ervilhas puras amarelas lisas e verdes rugosas, temos os respectivos fatores em cada indivíduo: **VVRR** e **vvrr**, isto é, cada indivíduo era duplo homocigoto. As linhagens parentais puras foram cruzadas, gerando gametas **VR** e **vr**, o que gerou indivíduos duplo **heterocigotos** ou **di-híbridos**. O esquema a seguir ilustra os indivíduos gerados no cruzamento.



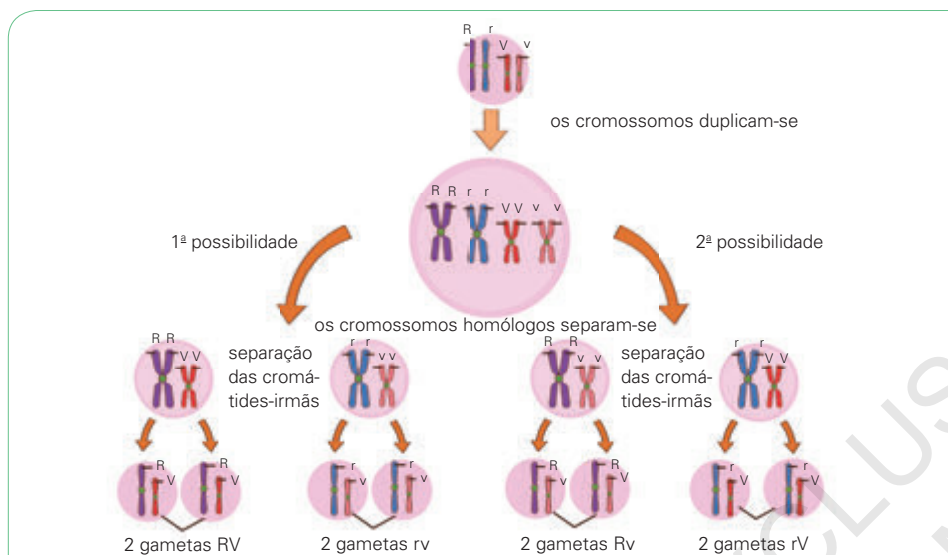
Relação entre meiose e segunda lei de Mendel

Na segunda lei de Mendel, a meiose é importante para explicar as gerações produzidas. Sendo assim, a célula diploide inicial de um indivíduo da geração F₁ com genótipo **VvRr** sofre duplicação na interfase e cada par de alelos está em um par de cromossomos homólogos. Com a primeira divisão da meiose, tanto os pares de cromossomos homólogos quanto os alelos se separam na anáfase I.

Na segunda divisão, em que há distribuição independente das cromátides-irmãs na metáfase II e separação na anáfase II, há duas possibilidades de combinação para a formação de gametas: uma cromátide com o alelo **R** pode segregar com uma cromátide com o alelo **V** ou outra cromátide com o alelo **v**, podendo formar gametas **RV** ou **Rv**. Do mesmo modo,

uma cromátide com o alelo **r** pode segregar com uma cromátide com o alelo **V** ou outra cromátide com o alelo **v**, formando gametas **rV** ou **rv**.

Dessa forma, são geradas quatro possibilidades de gameta que, ao serem fecundadas entre si, tornam 16 combinações possíveis, conforme identificadas na geração F₂.



Esquema que representa o experimento de Mendel, responsável pela descrição da segunda lei de Mendel. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Probabilidade na segunda lei de Mendel

A proporção fenotípica observada por Mendel foi 9:3:3:1. Essa proporção indica que, para o número 9, temos a ocorrência de dois fenótipos dominantes no mesmo indivíduo. Dos fenótipos dominantes das características em questão, 3 indica a proporção ocorrida de um fenótipo dominante e um recessivo, e 1 indica dois fenótipos recessivos no mesmo indivíduo. Para compreender como se deu essa proporção, basta avaliar as características separadamente.

	Cor	Textura
Geração P	VV × vv	RR × rr
Geração F₁	4/4 Vv	4/4 Rr
Autofecundação	Vv × Vv	Rr × Rr
Geração F₂	1/4 VV; 1/2 Vv/ 1/4 vv	1/4 RR; 1/2 Rr; 1/4 rr

Proporção

(3 amarelas : 1 verde)

(3 lisas : 1 rugosa)

(3 V_ : 1vv)

(3 R_ : 1rr)

A proporção de cada característica é de 3 indivíduos com o fenótipo dominante para 1 com o fenótipo recessivo. Portanto, como as características segregam sem depender uma da outra, para se obter a probabilidade, por exemplo, de uma ervilha ser lisa e amarela ao mesmo tempo, é preciso multiplicar a probabilidade de se obter a semente com característica lisa pela probabilidade de a semente apresentar a cor amarela. Dessa forma, se a probabilidade de uma ervilha ser lisa é 3/4 e a probabilidade de ser amarela é a mesma, basta fazer a seguinte operação:

$$3/4 \times 3/4 = 9/16$$

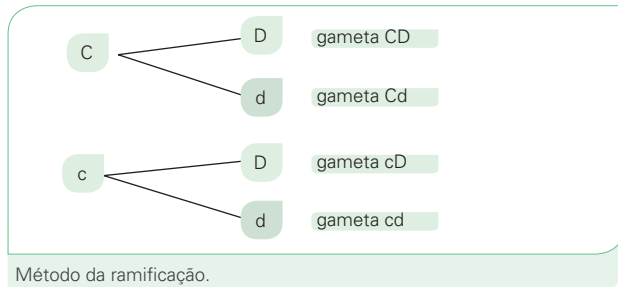
Para ervilhas amarelas e rugosas, teremos: $3/4 \times 1/4 = 3/16$.

Para ervilhas verdes e lisas, teremos: $1/4 \times 3/4 = 3/16$.

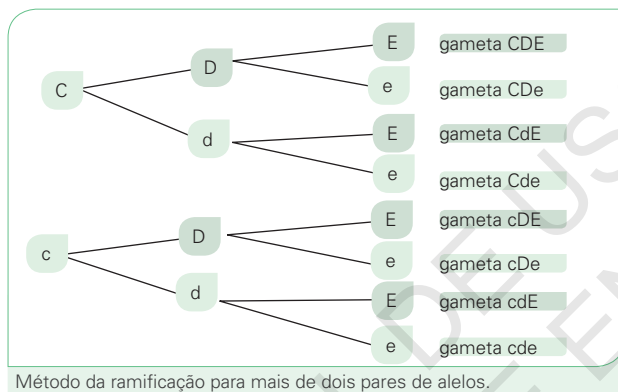
Para ervilhas verdes e rugosas, teremos: $1/4 \times 1/4 = 1/16$.

CALCULANDO OS TIPOS DE GAMETA

Os gametas que um indivíduo pode gerar são calculados pelo **método das ramificações**. Considere um indivíduo com o genótipo CcDd. Como cada par de alelos segrega de forma independente, um gameta terá o alelo C, e o outro, o alelo c. Cada um desses alelos pode combinar com D ou com d, originando, assim, quatro possibilidades de gameta: CD, Cd, cD e cd, conforme esquema a seguir:



Para mais de dois pares de alelos, basta seguir o mesmo método, porém ramificando para cada caractere que estiver sendo trabalhado. Veja o exemplo a seguir, considerando um indivíduo com o genótipo CcDdEe:



A fórmula abaixo descreve o cálculo do número de tipos de gameta possíveis com base na quantidade de gametas diferentes que **dependem do número de pares de alelos em heterozigose**.

sendo n o número de pares heterozigotos.

Genótipo	Número de pares heterozigotos	Tipo de gameta (2^n)
AAbbccDDeeFF	0	$2^0 = 1$
aaBBCCdEEff	1	$2^1 = 2$
AABbCcddEeff	3	$2^3 = 8$
AaBbCcDdEeFf	6	$2^6 = 64$

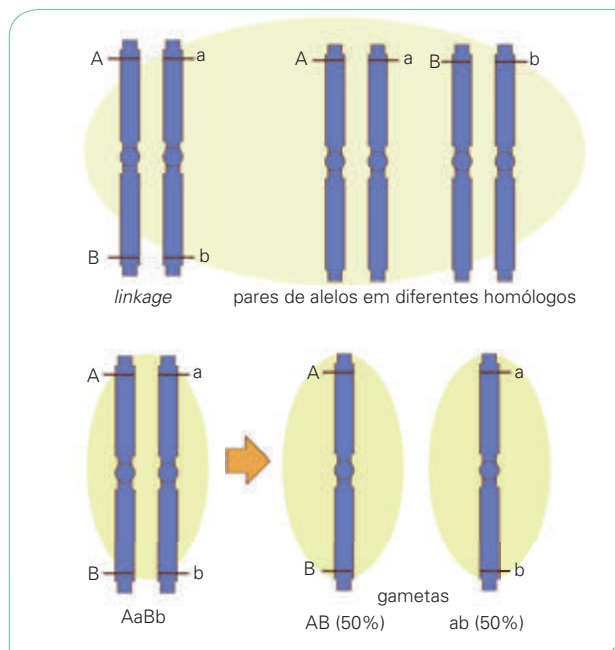
Na primeira lei de Mendel foram analisadas características que são originadas pela expressão gênica de um par de alelos referente a um mesmo *locus*, o que

chamamos de **mono-hibridismo**. Na segunda lei de Mendel são analisadas duas, três ou mais características simultâneas que se expressam de maneira independente e as denominamos, respectivamente, como **di-hibridismo**, **tri-hibridismo** ou **poli-hibridismo**.

A análise de segregação de características independentes mostra um panorama mais elaborado de previsão de possíveis combinações de um organismo como um todo. Assim, é possível prever não só as características das técnicas de manejo genético, que exigem a consideração de aspectos mais amplos que a manipulação de apenas uma característica, como também realizar análises e previsão de doenças ou características físicas múltiplas decorrentes de uma única doença.

EXCEÇÕES DA SEGUNDA LEI DE MENDEL

De acordo com a segunda lei de Mendel, os genes são segregados de forma independente quando estão em pares de cromossomos homólogos diferentes. Por isso, as características fenotípicas se manifestam sem depender umas das outras, formando gametas diferentes entre si. Quando os genes se encontram em um mesmo cromossomo, eles não são segregados independentemente, uma vez que estão ligados entre si e caminham juntos para a formação de gametas. Esse fenômeno é denominado *linkage* ou **ligação gênica** ou **ligação fatorial**. A única forma de os genes ligados não serem transmitidos juntos é eles estarem nos mesmos cromossomos, mas em trechos relativamente distantes. Devido ao **crossing over** durante a meiose, isto é, quando ocorre a troca de pedaços entre os cromossomos homólogos, um gene pode ser trocado com seu homólogo e o outro permanecer no mesmo braço cromossômico, dependendo da região em que houve a permuta.



Esquema de diferenciação entre genes ligados e genes que segregam independentemente e a formação de gametas pelos genes ligados. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

LEITURA COMPLEMENTAR

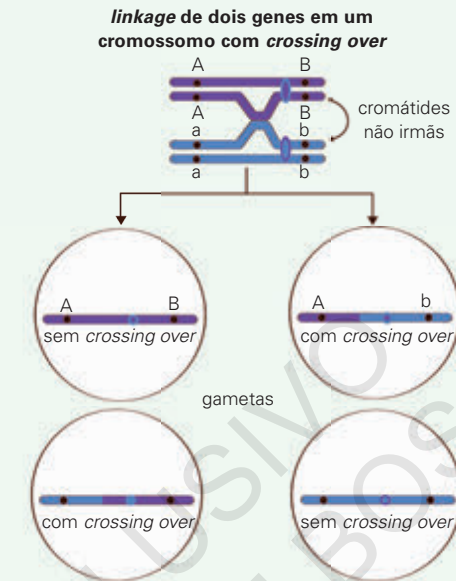
Para reconhecer um caso de *linkage* é importante avaliar a quantidade de gametas que podem ser formados pelo par de cromossomos.

Situação 1: O indivíduo AaBb produz os seguintes gametas: 1/4 AB; 1/4 Ab; 1/4 aB; 1/4 ab.

Situação 2: O indivíduo BbCc produz os seguintes gametas: 1/2 BC; 1/2 bc.

Situação 3: O indivíduo CcDd produz os seguintes gametas: 40% CD, 10% Cd; 10% cD; 40% cd.

Na **situação 1**, foram produzidos quatro gametas diferentes, todos na mesma proporção. Logo, é um exemplo de segregação independente. Na **situação 2**, apenas dois gametas foram originados na mesma proporção, exemplificando um *linkage*. Por fim, na **situação 3**, há quatro gametas originados em proporções diferentes, também um caso de *linkage*, porém com o diferencial da ocorrência de uma permutação ou *crossing over*.



Disponível em: <<https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/biologia/linkage.htm>>. Acesso em: jan. 2019. (Adaptado)

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO DO
SISTEMA DE ENSINO DOMINOSCO

ROTEIRO DE AULA

SEGUNDA LEI DE MENDEL

Segunda lei de Mendel

Duas ou mais características sofrem segregação independente e, por isso,
podem ser transmitidas juntas ou separadas.

Experimento

Cruzamento entre ervilhas amarelas lisas e ervilhas verdes rugosas.

Geração parental

sementes amarelas lisas vvrr

x

sementes verdes rugosas vvrr

Geração F₁

100% amarelas lisas VvRr

Autocruzamento

amarelas lisas VvRr

x

amarelas lisas VvRr

Geração F₂

V_R_

V_rr

vvR_

vvrr

Fenótipo

amarela

lisa

amarela
rugosa

verde lisa

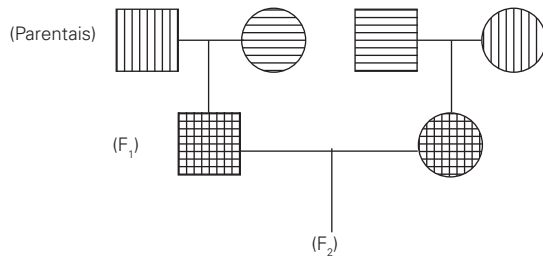
verde rugosa

Proporção

9:3:3:1

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. FGV (adaptada) – Analise o heredograma que ilustra a transmissão de duas características genéticas, cada uma condicionada por um par de alelos autossômicos.



Fenótipos	Genótipos
1 ou	A_B_
2 ou	A_bb
3 ou	aaB_
4 ou	aabb

Admitindo que todos os indivíduos da geração parental são duplo homocigotos e que foram gerados em cerca de cem descendentes, é correto afirmar que a proporção esperada para os fenótipos 1, 2, 3 e 4, respectivamente, é de

- a) 3:1:3:1. c) 1:1:1:1. e) 1:3:3:1.
b) 9:3:3:1. d) 3:3:1:1.

É um caso de segregação independente, remetendo à segunda lei de Mendel. Parentais são $AaBb \times aaBB$ e $aaBB \times AaBb$. Portanto, a geração F_1 será: $AaBb \times AaBb$ e a F_2 será: $9/16 A_B_;$ $3/16 A_bb;$ $3/16 aaB_;$ $1/16 aabb$.

2. Famerp-SP – O quadro ilustra um experimento que utilizou ervilhas de cheiro, em que as plantas parentais (P) eram de linhagens puras.

P	ervilha lisa e amarela (P1) \times ervilha rugosa e verde (P2)
F1	100% ervilha lisa e amarela
F1 \times P2	ervilha lisa e amarela \times ervilha rugosa e verde
F2	25% ervilha lisa e amarela 25% ervilha lisa e verde 25% ervilha rugosa e amarela 25% ervilha rugosa e verde

Os resultados obtidos em F_2 permitiram concluir que os genes que determinam a forma e os genes que determinam a cor das ervilhas

- a) estão no mesmo par de cromossomos homólogos.
 b) se combinaram de tal modo que revelaram um desacordo com a segunda lei de Mendel.
 c) se combinaram de diferentes formas por causa da permutação.
 d) distam 25 centimorgans, que é unidade de medida para medir a ligação genética.
e) estão em diferentes pares de cromossomos homólogos.

Os resultados obtidos em F_2 , originados do cruzamento entre F_1 e P_2 , mostram que os genes da forma e da cor das ervilhas estão em pares de cromossomos homólogos diferentes devido à maior diversidade de combinações fenotípicas. Se estivessem no mesmo par de cromossomos, a proporção seria inferior: verde e rugosa obrigatoriamente ou amarela e lisa.

3. Sistema Dom Bosco – Considere uma planta que pode apresentar inflorescência simples ou composta, pétalas vermelhas ou brancas e frutos redondos ou alongados. Um dos indivíduos possui o seguinte genótipo: $liPPFf$. Baseando-se nessas informações e em seus conhecimentos, cite o número possível de gametas que podem ser produzidos a partir desse genótipo e indique quais são.

Poderão ser originados quatro gametas, sendo eles: lPF , lPf , iPF e iPf .

4. Ufam – Considere que, em tomate, a cor do hipocótilo e a borda da folha são características definidas por genes distribuídos independentemente. O hipocótilo roxo é produzido por um gene recessivo (r) e o hipocótilo verde, pelo seu alelo (R). Por outro lado, a folha lisa é produzida por um gene recessivo (f) e a folha serrilhada, pelo seu alelo (F). Considerando, ainda, que o cruzamento entre dois genótipos di-híbridos para as características em questão produz 128 indivíduos, assinale a alternativa que indica corretamente o número de tomateiros da progênie que apresenta genótipo idêntico ao dos pais:

- a) 40 c) 24 e) 8
b) 32 d) 16

O genótipo dos pais é $RrFf$. Realizando o cruzamento, temos a probabilidade de $1/2$ de Rr e $1/2$ de Ff , o que dá como probabilidade total: $1/2 \times 1/2 = 1/4$. Ao multiplicarmos $128 \times 1/4$, teremos 32.

5. Uece (adaptada) – Como dinâmica de aula durante a exposição do assunto genética mendeliana, a professora construiu o seguinte modelo para demonstrar a segunda lei de Mendel:

	RV	Rv	rV	rv
RV	 RRVV	 RRVv	 RrVV	 RrVv
Rv	 RRVv	 RRvv	 RrVv	 Rrvv
rV	 RrVV	 RrVv	 rrVV	 rrVv
rv	 RrVv	 Rrvv	 rrVv	 rrvv

Se R é o alelo dominante que expressa uma característica semente tipo lisa; r o alelo recessivo que

expressa uma característica semente do tipo rugosa; V o alelo dominante que expressa a característica cor verde da semente; e v o alelo recessivo que expressa a característica cor amarela, então é correto afirmar que

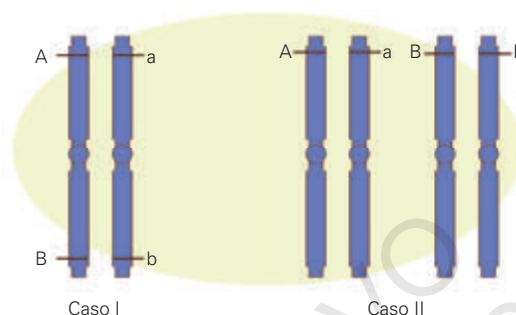
- em um cruzamento do tipo $RRVv \times RRVV$, os descendentes serão todos sementes lisas e amarelas.
- no cruzamento $R_V_ \times RRVV$, pode-se determinar os genótipos possíveis.
- todas as sementes verdes do cruzamento $RrVv \times RrVv$ são lisas.
- a leitura da proporção para o cruzamento exemplificado no quadro acima é de 9:3:2:1.

A alternativa A está incorreta, porque 100% dos descendentes carregam o alelo V e, portanto, são verdes. A alternativa B está correta, porque, se o $R_V_$ for $RRVV$, 100% dos descendentes terão genótipo $RRVv$. Por outro lado, se o indivíduo $R_V_$ tiver genótipo $RrVv$, serão gerados descendentes com os seguintes genótipos: $RRVv$; $RRVv$; $RrVv$ e $RrVv$. Portanto, é possível determinar os genótipos dos descendentes. A alternativa C está incorreta, porque o cruzamento $RrVv \times RrVv$ gera descendentes verdes ($V_$) e rugosos (rr) na proporção de 3/16. A alternativa D está incorreta, porque a proporção exemplificada é de 9:3:3:1.

6. UFRGS-RS (adaptada)

C4-H13

O esquema a seguir representa a localização de determinados alelos.



Com base em seus conhecimentos, cite em qual caso os alelos se segregam de forma independente e explique o motivo.

Os alelos se segregam de forma independente no caso II, porque se encontram em pares de cromossomos homólogos diferentes.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Reconhecer mecanismos de transmissão da vida, prevendo ou explicando a manifestação de características dos seres vivos.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

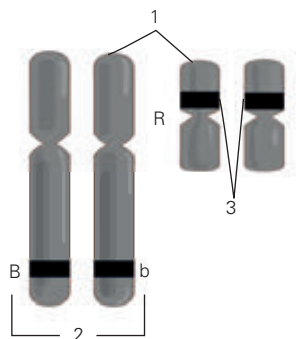
7. UENP-PR – Em uma espécie de dípteros, o gene A condiciona olhos amarelos e o gene V, localizado nos outros cromossomos, condiciona olhos vermelhos. Os alelos recessivos a e v não permitem a produção de pigmento, levando ao fenótipo branco. O cruzamento entre indivíduos de olhos amarelos e vermelhos produz uma geração F1, constituída exclusivamente de indivíduos de olhos laranjas. Assinale a alternativa que contém a proporção correta do cruzamento entre os indivíduos da F1.

- 12/16 indivíduos de olhos laranja; 3/16 indivíduos de olhos amarelos e 1/16 indivíduos de olhos brancos.
- 9/16 indivíduos de olhos brancos, 3/16 indivíduos de olhos laranja, 3/16 indivíduos de olhos amarelos e 1/16 indivíduos de olhos vermelhos.
- 9/16 indivíduos de olhos amarelos, 3/16 indivíduos de olhos laranja, 3/16 indivíduos de olhos vermelhos e 1/16 indivíduos de olhos brancos.
- 9/16 indivíduos de olhos vermelhos, 3/16 indivíduos de olhos laranja, 3/16 indivíduos de olhos amarelos e 1/16 indivíduos de olhos brancos.
- 9/16 indivíduos de olhos laranja, 3/16 indivíduos de olhos vermelhos, 3/16 indivíduos de olhos amarelos e 1/16 indivíduos de olhos brancos.

8. UFU-MG – Em ervilhas, a cor da semente amarela é dominante sobre a verde e a textura lisa é dominante sobre a rugosa. A partir do cruzamento de duas plantas duplamente heterozigotas, foram obtidas 3200 plantas. Sobre o número de plantas amarelas e lisas, é correto afirmar que totalizam

- 600.
- 1 800.
- 1 200.
- 200.

9. UEPG-PR (adaptada) – A figura abaixo representa dois dos sete pares de cromossomos de uma célula de uma determinada espécie de angiosperma. A cor da pétala é determinada pelos alelos dominante (B) para púrpura e recessivo (b) para cor branca. O alelo dominante (R) determina que a planta seja alta enquanto o recessivo (r) gera plantas baixas.



Com relação aos conceitos fundamentais em genética e mendelismo, assinale o que for correto.

- A frequência e os tipos de gametas formados da célula representada na figura são: 25% BR, 25% Br; 25% bR e 25% br.
- O número 2 aponta condição homocigótica para a característica cor da pétala.
- O locus apontado em 3 é responsável pela cor da pétala.
- A combinação genotípica demonstrada na figura resulta em fenótipos de cor de pétala branca e planta baixa.
- Em 1, as linhas apontam o par de cromossomos homólogos.

10. Fuvest-SP (adaptada) – Um indivíduo apresenta o genótipo AaBb. Um espermatócito desse indivíduo sofre meiose. Simultaneamente, uma célula sanguínea do mesmo indivíduo entra em divisão meiótica. Ao final da interfase que precede a meiose e a mitose, qual será a constituição genotípica em cada uma dessas células?

11. Unesp – As figuras representam células de duas espécies animais: 1 e 2. Na célula da espécie 1, dois genes que determinam duas diferentes características estão presentes no mesmo cromossomo. Na célula 2, esses dois genes estão presentes em cromossomos diferentes.



Tendo por base a formação de gametas nessas espécies, e sem que se considere a permutação (*crossing over*), constata-se a primeira lei de Mendel

- tanto na espécie 1 quanto na espécie 2, mas a segunda lei de Mendel se constata apenas na espécie 1.
- apenas na espécie 1, enquanto a segunda lei de Mendel se constata apenas na espécie 2.
- apenas na espécie 2, enquanto a segunda lei de Mendel se constata apenas na espécie 1.
- apenas na espécie 2, enquanto a segunda lei de Mendel se constata tanto na espécie 1 quanto na espécie 2.
- tanto na espécie 1 quanto na espécie 2, mas a segunda lei de Mendel se constata apenas na espécie 2.

12. Sistema Dom Bosco – Suponha que haja o cruzamento entre dois indivíduos com os genótipos AARR e aarr. O resultado genotípico foi o seguinte:

F1: 100% AaRr.

F2: 9/16 A_R_; 3/16 A_rr; 3/16 aaR_; 1/16 aarr.

Assinale com V (verdadeiro) ou F (falso) as afirmações abaixo, referentes aos resultados obtidos para o cruzamento descrito.

- () As proporções fenotípicas obtidas em F2 indicam ausência de dominância, pois houve alteração nas proporções esperadas.

- () Os resultados obtidos em F2 indicam um di-hibridismo envolvendo dois genes autossômicos com segregação independente.
- () As proporções obtidas em F2 estão de acordo com a segunda lei de Mendel ou princípio da segregação independente dos caracteres.
- () Os pares de alelos desses genes estão localizados em cromossomos homólogos.

A sequência correta de preenchimento dos parênteses é:

- V – V – F – F
- V – F – V – F
- V – F – F – V
- F – F – V – V
- F – V – V – F

13. PUC-RJ – A primeira e a segunda leis de Mendel estão relacionadas, respectivamente, com os seguintes eventos ocorridos na meiose:

- Condensação dos cromossomos homólogos na prófase I e *crossing over* na prófase I.
- Segregação dos cromossomos homólogos na anáfase I e distribuição independente dos cromossomos na metáfase I.
- Segregação dos cromossomos homólogos na anáfase I e separação das cromátides-irmãs na anáfase II.
- Alinhamento dos cromossomos homólogos na metáfase I e *crossing over* na prófase I.
- Alinhamento dos cromossomos homólogos na metáfase I e alinhamento dos cromossomos na metáfase II.

14. UFRJ (adaptada) – Na tabela a seguir, estão representadas duas proporções fenotípicas (casos 1 e 2) que poderiam resultar no cruzamento de dois indivíduos AaBb.

Fenótipo	Caso 1	Caso 2
A_B_	9	7
A_bb	3	7
aaB_	3	1
Aabb	1	1
Total	16	16

Identifique qual dos casos tem maior probabilidade de representar dois *loci* no mesmo cromossomo. Justifique sua resposta.

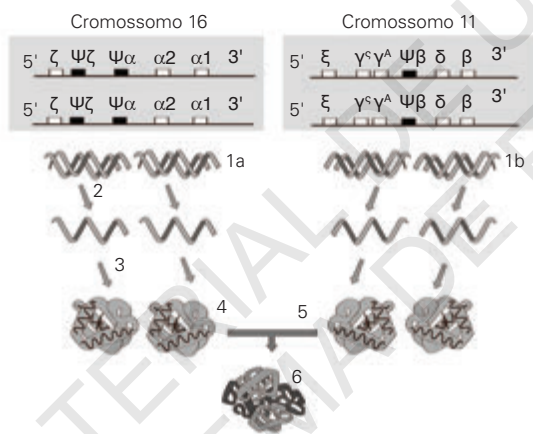
- 15. Fac. Albert Einstein-SP** – Considere dois pares de genes com segregação independente em uma angiosperma que tem autopolinização e cujas flores têm apenas um ovário, no qual se aloja um único óvulo. Suponha que as células diploides da flor de um exemplar dessa espécie apresentassem genótipo AaBb e que dela tenham se originado componentes com determinadas constituições genéticas, que se encontram na tabela abaixo.

Componentes	Constituição genética
Oosfera (gameta feminino)	AB
Células-mãe de esporos masculinos	AaBb
Células do endosperma	AAaBBb

Esses dados permitem concluir que

- a) os esporos femininos desse exemplar, produzidos por meiose, tinham constituição AB ou ab.
 b) os esporos femininos desse exemplar, produzidos por meiose, tinham constituição Ab ou aB.
 c) os núcleos espermáticos desse exemplar, produzidos por mitose e presentes no tubo polínico, tinham constituição ab.
 d) os núcleos espermáticos desse exemplar, produzidos por meiose e presentes no tubo polínico, tinham constituição Ab.

- 16. UPE-PE (adaptada)** – A figura a seguir representa a formação da hemoglobina normal (HbA).



A hemoglobina tem como função absorver e transportar oxigênio nas hemácias de animais vertebrados. Os cromossomos 16 e 11 são responsáveis pela formação de alfa globina e beta globina, respectivamente. Esses genes _____ e, por isso, _____, de acordo com a _____.

- a) se encontram no mesmo cromossomo; segregam juntos; segunda lei de Mendel
 b) se encontram no mesmo cromossomo; segregam independentemente; primeira lei de Mendel
 c) se encontram em cromossomos distintos; segregam juntos; primeira lei de Mendel
 d) se encontram em cromossomos distintos; segregam independentemente; segunda lei de Mendel

- 17. Unifenas-MG (adaptada)** – A sensibilidade à feniltiocarbamida (PTC), isto é, a capacidade de sentir o gosto amargo, é condicionada pelo gene dominante I e a insensibilidade a essa substância é devida a seu alelo recessivo i. A queratose, que é o aparecimento de manchas escuras e ásperas na pele, é determinada por gene dominante Q, enquanto a fenilcetonúria (acúmulo de fenilalanina no corpo) e a habilidade para a mão esquerda (canhoto) são condicionadas por genes recessivos f e d, respectivamente. Todas as heranças envolvidas são autossômicas. Num casal em que o homem e a mulher são heterozigotos para as quatro características citadas, determine a probabilidade de nascer uma menina sensível ao PTC, sem queratose, com fenilcetonúria e canhota.

ESTUDO PARA O ENEM

18. Enem

C4-H13

A mosca *Drosophila*, conhecida como mosca-das-frutas, é bastante estudada no meio acadêmico pelos geneticistas. Dois caracteres estão entre os mais estudados: tamanho da asa e cor do corpo, cada um condicionado por um gene autossômico. Em se tratando do tamanho da asa, a característica asa vestigial é recessiva e a característica asa longa, dominante. Em relação à cor do indivíduo, a coloração cinza é recessiva e a cor preta, dominante. Em um experimento, foi realizado um cruzamento entre indivíduos heterozigotos para os dois caracteres, do qual foram geradas 288 moscas, qual a quantidade esperada de

moscas que apresentam o mesmo fenótipo dos indivíduos parentais?

- a) 288 c) 108 e) 54
 b) 162 d) 72

19. Sistema Dom Bosco

C4-H13

Em 2018, a primeira safra de milho no Brasil atingiu aproximadamente 28% da área, segundo a consultoria Safras, e acredita-se que houve semeadura de 4,11 milhões de hectares, sendo que 57% dessa área corresponde ao Rio Grande do Sul, seguido por Santa Catarina com 39%, Paraná com 36% e São Paulo com 12%.

Sabe-se que os grãos de milho podem ser amarelos ou rosados, cheios ou murchos e que o ideal para a economia é que eles sejam amarelos e cheios. Esses últimos fenótipos são dominantes. Um agricultor decidiu fazer novos cruzamentos entre alguns tipos de milho na tentativa de obter gerações mais vantajosas economicamente e obteve 25% de grãos amarelos e cheios, 25% de grãos rosados e murchos, 25% de grãos amarelos e murchos e 25% de rosados e cheios. Uma das plantas que originaram essa prole é duplamente homozigota. Com base nessas informações, marque a alternativa correta:

- a) Os fenótipos apresentados são de genes que segregam independentemente.
- b) Ambas as plantas da geração parental apresentam genótipos dominantes para as características.
- c) As plantas parentais são completamente homozigotas.

- d) A prole seria mantida na proporção 1:1:1:1 se as parentais fossem duplamente heterozigotas.
- e) As plantas em questão resultado de engenharia genética.

20. Sistema Dom Bosco

C4-H13

A característica destro é condicionada por um alelo dominante D, enquanto ser canhoto é condicionado pelo alelo recessivo d. Do mesmo modo, ser polidáctilo, isto é, apresentar mais de cinco dedos nas mãos e/ou nos pés é determinado por um alelo dominante P, enquanto pessoas normais possuem o alelo p. Ângela é destra heterozigota e não polidáctila, mas seu marido Rodolfo é polidáctilo, e a mãe dele é canhota. Qual a probabilidade de eles terem uma filha canhota e polidáctila?

- a) 1/2
- b) 1/4
- c) 1/8
- d) 1/16
- e) 2/3

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO DO SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

38

DETERMINAÇÃO GENÉTICA DO SEXO

- Cromossomos sexuais
- Sistema de determinação cromossômica do sexo
- Equilíbrio gênico na razão sexual

HABILIDADES

- Citar os principais sistemas de determinação cromossômica do sexo de diversos organismos e o efeito do ambiente em relação a eles.
- Identificar diferenças entre os sistemas de determinação cromossômica do sexo.
- Calcular a probabilidade de determinados fenótipos sexuais surgirem em moscas-da-fruta.
- Compreender o que é corpúsculo de Barr e a importância dele na área forense.

Os flebotomíneos (Phlebotominae) são moscas hematófagas, da ordem Diptera. Suas fêmeas podem ser infectadas pelo protozoário do gênero *Leishmania*, causador da leishmaniose. A transmissão da doença ocorre por meio da picada da fêmea, que se alimenta do sangue de cães e seres humanos.

A base molecular de reprodução e determinação sexual ainda é desconhecida. Esse tema é de grande interesse para os países com maiores índices de leishmaniose, pois compreender a determinação sexual desses insetos seria útil para elaborar políticas de combate à doença.

Foram realizadas pesquisas comparativas dos genomas e transcriptomas (conjuntos de RNAs – transcritos) relacionados à determinação sexual do mosquito. Estudou-se o modelo de cascata gênica de determinação sexual com base no gene *tra* e na sua ativação por um sinal inicial. Este pode ser o número de cromossomos X, como ocorre na mosca-da-fruta (*Drosophila melanogaster*). E esse mesmo modelo de estudo foi aplicado nas pesquisas sobre o mosquito transmissor da leishmaniose.

No caso dos flebotomíneos da Europa, da Ásia e da África, existe um gene homólogo ao *tra*, mas o sinal inicial não foi identificado. Os estudos a respeito do flebotomíneo da espécie *Phlebotomus perniciosus*, por ser a única espécie desses três continentes a apresentar cromossomo sexual heteromórfico (dois cromossomos com formas diferentes), podem contribuir no controle da população dos mosquitos vetores da leishmaniose. Consequentemente, haveria menor impacto dessa doença.



Indivíduos macho (esquerda) e fêmea (direita) de flebotomíneos do gênero *Phlebotomus*. Aumento de 985x.

Cromossomos sexuais

O sexo biológico de um indivíduo é definido geneticamente, e os genes responsáveis por essa determinação estão localizados nos **cromossomos sexuais**, chamados **alossomos** ou **heterocromossomos**. Como já estudamos no módulo anterior, o tamanho do cromossomo X é muito maior do que do cromossomo Y.

ALFRED PASIEKA / SCIENCE PHOTO LIBRARY / FOTOARENA



Ilustração digital dos cromossomos sexuais X (esquerda) e Y (direita). Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

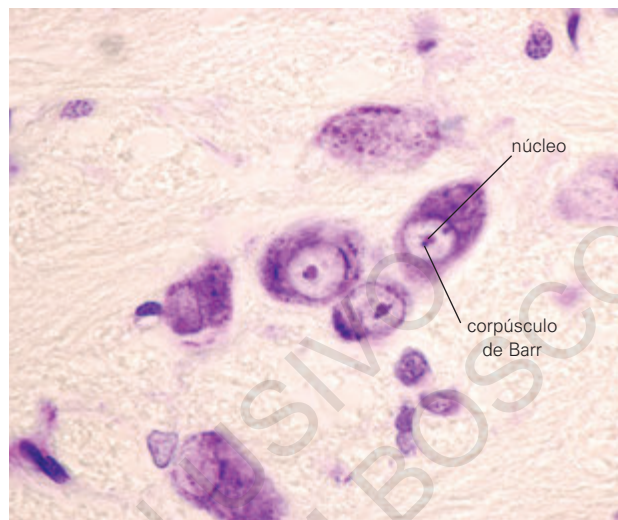
CROMATINA SEXUAL OU CORPÚSCULO DE BARR

Em 1949, o pesquisador canadense Murray L. Barr (1908-1995) e alguns colaboradores, ao estudarem células nervosas de felinos fêmeas, encontraram durante a interfase uma massa de cromatina na periferia dos núcleos das células. Essa massa de cromatina, no entanto, não estava presente em células nervosas de indivíduos machos de felinos.

Em 1961, a geneticista inglesa Mary Frances Lyon (1925-2014) propôs a ideia, conhecida mais tarde como hipótese de Lyon, de que apenas um cromossomo X é ativo na célula interfásica e que os demais, independentemente da quantidade existente, são inativados e apresentam formato condensado. Esses cromossomos foram então chamados de **cromatina sexual** ou **corpúsculo de Barr**.

A hipótese de Lyon esclareceu a dúvida de muitos pesquisadores que concordavam com a ideia da existência de um mecanismo que atenuasse um dos cromossomos X do sexo feminino, pois foi constatado que mulheres homocigóticas apresentavam diversas similaridades genéticas com homens hemizigóticos (XO). O corpúsculo de Barr representa a condensação, e a consequente inativação parcial, de um dos cromos-

somos X. A hipótese foi corroborada ao se descobrir que apenas 1 cromossomo X é necessário para o metabolismo normal das células das fêmeas.



Microscopia óptica de células neuronais. As setas indicam o núcleo e o corpúsculo de Barr. Aumento desconhecido.

JOSE LUIS CALVO MARTIN & JOSE ENRIQUE GARCIA-MAURINO MUZQUIZ/ISTOCK

A quantidade de corpúsculos de Barr em uma célula depende do número de cromossomos X existentes nela. Em um indivíduo normal do sexo feminino, por exemplo, espera-se que haja apenas 1 corpúsculo de Barr, uma vez que esse indivíduo apresenta 2 cromossomos X em suas células, de modo que apenas um deles não é expresso. Portanto, conclui-se que:

$$n^{\circ} \text{ de corpúsculo de Barr} = n^{\circ} \text{ de cromossomos X} - 1$$

Como indivíduos do sexo masculino apresentam 44 cromossomos autossômicos e apenas 1 cromossomo X e 1 cromossomo Y, o número de corpúsculos de Barr é 0.

$$n^{\circ} \text{ de corpúsculos de Barr} = 1 - 1 = 0$$

Quando não existem corpúsculos de Barr, diz-se que a pesquisa da cromatina sexual foi negativa. Porém, se existirem, então diz-se que a pesquisa da cromatina sexual foi positiva. Esse tipo de exame pode ser utilizado em análises forenses, na tentativa de determinar a identidade ou o sexo de uma vítima. Além disso, a pesquisa envolvendo os corpúsculos de Barr auxilia até mesmo em caso de dúvidas em relação às características sexuais de um recém-nascido, como nos casos de malformação do feto. Também é muito utilizada quando existe suspeita de fraudes em competições esportivas oficiais, como nos Jogos Olímpicos. Geralmente coletam-se células da mucosa bucal ou glóbulos brancos (células do sangue) para a realização do exame.

LEITURA COMPLEMENTAR

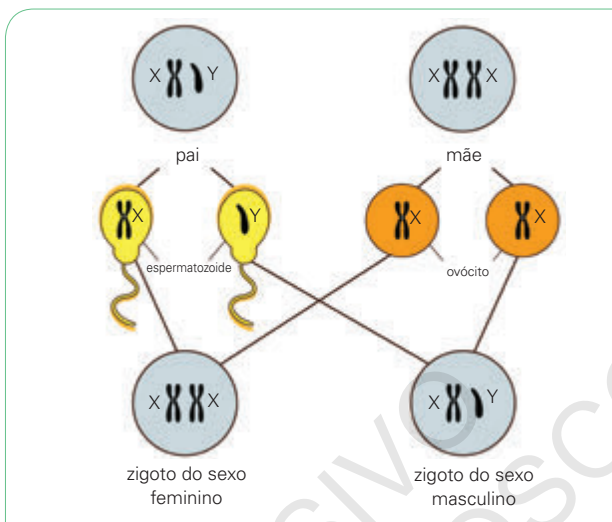
Corpúsculos de Barr e cor da pelagem de gatos

A cor da pelagem de gatos denominada cálica ou “casco de tartaruga” apresenta o padrão de três cores e é uma herança ligada ao cromossomo X. A inativação de um dos cromossomos explica a existência dessa característica apenas em fêmeas. Eventualmente, pode acontecer de machos apresentarem essa característica, cuja frequência é de 1 em cada 3 000 nascimentos. Se isso ocorrer, os machos apresentam cariótipo XXY, isto é, uma trissomia de cromossomos sexuais. Na espécie humana, essa trissomia é responsável pela síndrome de Klinefelter.



Gatos tricolores são majoritariamente do sexo feminino. Esse padrão de cor em machos só ocorre em casos de trissomia do cromossomo X.

BIANCAGRUENBERG/ISTOCK



Nessa simulação de cruzamento, podemos notar a distribuição dos cromossomos sexuais. Origina-se, então, um zigoto do sexo feminino e um zigoto do sexo masculino. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

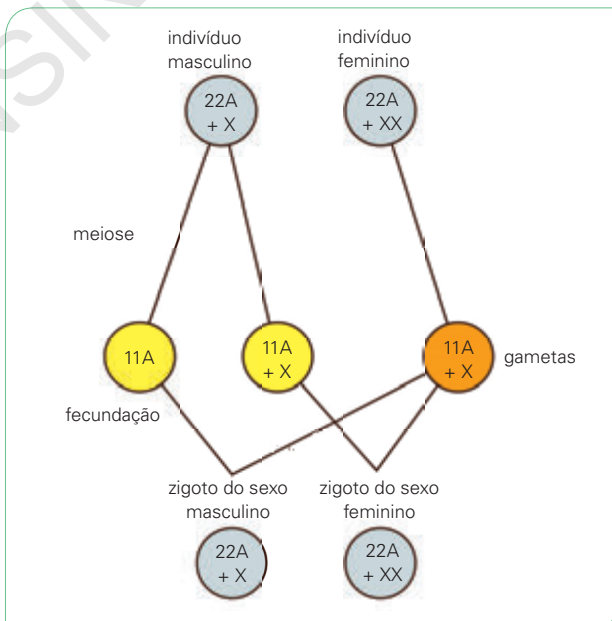
SISTEMA XO

Alguns artrópodes, como besouros e gafanhotos, apresentam o sistema de determinação cromossômica sexual XO, em que 0 indica a ausência de um cromossomo. Nesse sistema, indivíduos machos apresentam 2 conjuntos de cromossomos autossômicos e 1 cromossomo X. As fêmeas têm 2 conjuntos de cromossomos autossômicos e 1 par de cromossomos sexuais XX.

Sistema de determinação cromossômica do sexo**SISTEMA XY**

Nos seres humanos, o sistema XY é utilizado para determinar o sexo biológico. Nas células de indivíduos do sexo masculino ou feminino, existem 44 cromossomos autossômicos. No entanto, o que determina a diferença entre os sexos biológicos é a presença de um par de cromossomos sexuais, os quais podem ser XY (sexo biológico masculino) ou XX (sexo biológico feminino). Então, o cariótipo de indivíduos normais tem um total de 46 cromossomos.

Se o espermatozoide que apresenta o cromossomo Y fecundar o ovócito, será gerada uma criança do sexo masculino. Se o espermatozoide que apresenta o cromossomo X fecundar o ovócito, a gestação será de uma criança do sexo feminino. Assim, 23 cromossomos são de origem paterna, e os outros 23 são de origem materna, o que origina um indivíduo com 46 cromossomos. Esse sistema é observado em mamíferos, alguns artrópodes, certos anfíbios, gimnospermas e angiospermas.

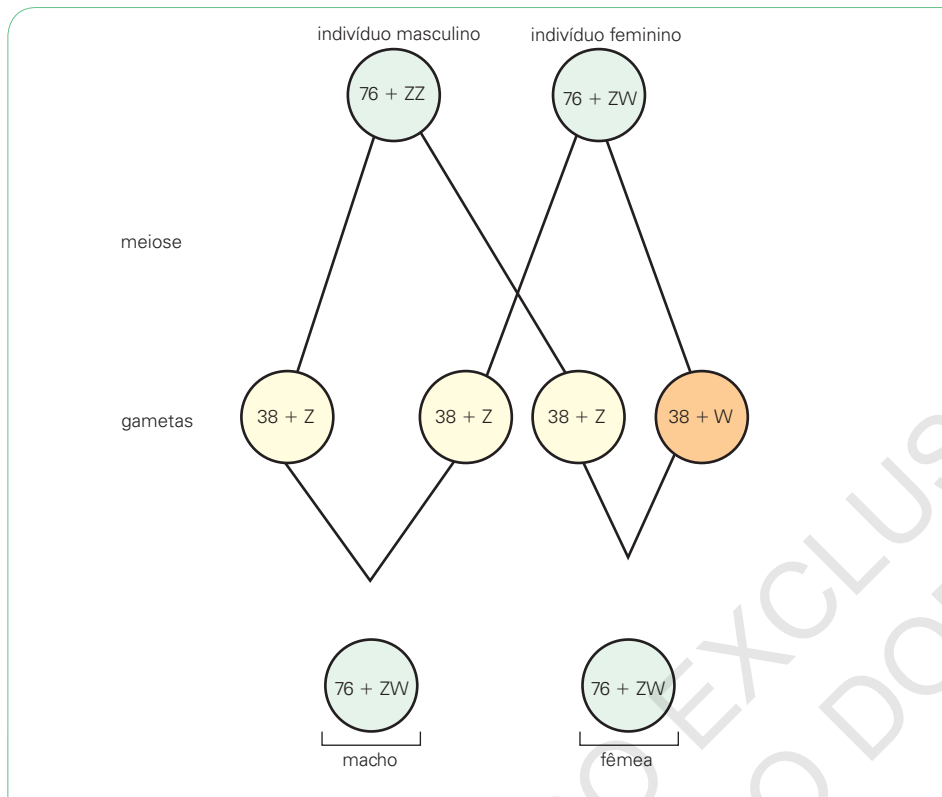


Cruzamento entre cromossomos sexuais de artrópodes, sendo os machos XO e as fêmeas XX. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

SISTEMA ZW

Ocorre em insetos, peixes, anfíbios e aves. O sexo heterogamético apresenta diferentes características dos sistemas de determinação sexual cromossômicas anteriores. Nesse sistema, o sexo biológico que tem dois cromossomos diferentes é o feminino, enquanto

o masculino é homogamético. Ambos os sexos apresentam o cromossomo Z, de modo que o sexo feminino é heterogamético ZW, e o masculino, homogamético (ZZ).



No sistema ZW, machos têm constituição cromossômica $2n = 76$ e produzem gametas com apenas o cromossomo Z ($n = 38 + Z$), que é do sexo masculino. As fêmeas, por sua vez, produzem gametas com o cromossomo Z ($n = 38 + Z$) ou W ($n = 38 + W$), que determina o sexo feminino. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

LEITURA COMPLEMENTAR

Sexo determinado pelo ambiente

O sexo de crocodilianos, quelônios e alguns lagartos pode ser determinado pela temperatura do ambiente a que os ovos são submetidos. Em jacarés e lagartos, a temperatura mais baixa determina o sexo de fêmeas, e a mais alta define o sexo de machos. Em quelônios (jabutis, cágados e tartarugas), o fenômeno ocorre de maneira inversa. Por exemplo, os ovos de tartarugas que estão mais ao fundo dos ninhos são mais frios e por esse motivo geram machos. Aqueles mais próximos da superfície são mais aquecidos e por isso originam indivíduos fêmeas.



TOPTEN22PHOTO

O sexo das tartarugas é determinado pela temperatura do ambiente a que os ovos são submetidos.

EQUILÍBRIO GÊNICO NA RAZÃO SEXUAL

No início do século XX, o pesquisador estadunidense Calvin Bridges (1889-1938) identificou que, em 1 a cada 2 600 meioses ocorridas em moscas-da-fruta (*Drosophila melanogaster*), o cromossomo X não era segregado. Formavam-se então gametas femininos que recebiam dois cromossomos X, em vez de um. Além disso, eram gerados gametas femininos sem cromossomos sexuais, por meio do cruzamento entre fêmeas triploides (AAA + XXX ou 3A + 3X) e machos diploides normais (2A + XY ou AA + XY). Os resultados foram além da determinação sexual comum dos indivíduos. Observe:

$3A + XX =$ intersexo (estéril)

$3A + XXY =$ intersexo (estéril)

$3A + XY =$ supermacho (pouco viável)

$2A + XXX =$ superfêmea (estéril)

Com base nesses resultados, Bridges criou a **teoria da balança de determinação do sexo** para explicar que o sexo biológico é definido pela relação entre o número de cromossomos X e a quantidade de autossômicos que existem em cada grupo de cromossomos homólogos.

$$\text{Sexo} = \frac{\text{n}^\circ \text{ de cromossomos X}}{\text{n}^\circ \text{ de cromossomos autossômicos em cada grupo de homólogos}}$$

Dessa forma, a relação encontrada foi a seguinte:

Cromossomos X	X	X	XXX	XX	XXX
Autossomos A	AAA	AA	AAA	AA	AA
Relação	< 0,5	0,5	entre 0,5 e 1	1	> 1
Sexo	supermacho	macho	intersexo	fêmea	superfêmea

Assim:

$$3A + XX = \text{intersexo (estéril)} = \frac{2X}{3A} = \frac{2}{3} = 0,66;$$

$$3A + XXY = \text{intersexo (estéril)} = \frac{2X}{3A} = \frac{2}{3} = 0,66;$$

$$3A + XY = \text{supermacho (metamacho)} = \frac{1X}{3A} = \frac{1}{3} = 0,33;$$

$$2A + XXX = \text{superfêmea (metafêmea)} = \frac{3X}{2A} = \frac{3}{2} = 1,5.$$

Vale lembrar que essa teoria não se aplica à determinação sexual de humanos, apenas na de *Drosophila melanogaster*.

ROTEIRO DE AULA

DETERMINAÇÃO GENÉTICA DO SEXO

Cromossomos sexuais

Filamentos de cromatina em formato de bastão responsáveis pelos sexos biológicos

macho ou

fêmea

Sistemas cromossômicos

XY

A fêmea é

heterogamética

e apresenta cromossomos

XX

O macho é

heterogamético

e apresenta cromossomos

XY

X0

A fêmea é

heterogamética

e apresenta cromossomos

XX

O macho é

heterogamético

e apresenta cromossomos

XD

ZW

A fêmea é

heterogamética

e apresenta cromossomos

ZW

O macho é

heterogamético

e apresenta cromossomos

ZZ

Corpúsculo de Barr

Ocorre somente no sexo

feminino

inativação parcial de um dos cromossomos

X

Equilíbrio gênico

Relação entre

quantidade de cromossomo X e quantidade de autossômicos

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. Sistema Dom Bosco – Após uma aula sobre a separação dos cromossomos no processo de gametogênese para originar gametas femininos e masculinos, Miguel refletiu a respeito da origem dos cromossomos dele e da irmã, Clara, com base em seus ancestrais. Assim, elaborou algumas ideias:

- I. Miguel necessariamente teria o cromossomo Y do avô paterno, mas seu cromossomo X poderia ser tanto da avó materna quanto do avô materno.
- II. Clara deve ter um cromossomo X necessariamente herdado do pai e outro pode ser tanto de origem da avó materna quanto do avô materno.
- III. Clara tem chance de passar características genéticas determinadas pelo cromossomo X tanto dos ancestrais maternos quanto paternos aos seus descendentes futuros. Porém, Miguel só tem chance de passar características genéticas do cromossomo X materno.

Assinale a alternativa correta.

- a) Somente a afirmativa I está correta.
- b) Somente as afirmativas I e II estão corretas.
- c) Somente as afirmativas II e III estão corretas.
- d) Somente as afirmativas I e III estão corretas.
- e) Todas as afirmativas estão corretas.

Todas as afirmativas estão corretas.

2. Sistema Dom Bosco – O sistema de determinação sexual em mamíferos é o XY, sendo um dos mais comuns entre os organismos. Cite os principais gametas que um macho pode formar com base em sua constituição gênica.

Os machos do sistema XY apresentam dois conjuntos de cromossomos

autossômicos, além de um cromossomo X e um cromossomo Y. Portanto,

seus gametas apresentam um conjunto cromossômico autossômico

completo e um dos cromossomos sexuais (X ou Y) : (A + X) ou (A + Y).

3. UEM-PR (adaptada) – A característica mais fundamental da vida é a reprodução, processo pelo qual os seres vivos têm se perpetuado em nosso planeta desde sua origem. Com relação aos sistemas de determinação do sexo, marque a alternativa correta:

- a) O sistema XY é encontrado apenas em mamíferos.
- b) Nos sistemas XY e XO, os machos constituem o sexo heterogamético.

c) No sistema ZW, machos são o sexo heterogamético e fêmeas são o sexo homogamético.

d) No sistema XO, machos apresentam dois cromossomos X.

A alternativa A está incorreta, porque o sistema XY pode ser encontrado em mamíferos, artrópodes e em plantas angiospermas e gimnospermas. A alternativa C está incorreta, pois a fêmea é o sexo heterogamético no sistema ZW. A alternativa D está incorreta, porque fêmeas apresentam dois cromossomos X e os machos apenas um.

4. UFBA – Em gatos, a determinação da cor do pelo é um caso de herança ligada ao cromossomo X. Assim, o pelo malhado, que é a manifestação de um genótipo heterozigoto em ausência de dominância, é encontrado normalmente nas fêmeas. O aparecimento excepcional de machos malhados é explicado a partir da seguinte constituição sexual cromossômica:

- a) XY
- b) XX
- c) XXY
- d) XYY
- e) XXX

A cor da pelagem de gatos é uma herança ligada ao cromossomo X. Um dos cromossomos X é inativado em fêmeas, mas eventualmente podem ocorrer machos com essa característica. Neste caso, os machos têm cariótipo XXY, isto é, uma trissomia de cromossomos sexuais.

5. Uece (adaptada) – O corpúsculo de Barr ocorre devido à inativação de um cromossomo X, tornando-o condensado na periferia do núcleo celular. São esperados dois corpúsculos de Barr nas pessoas portadoras do seguinte conjunto cromossômico:

- a) 2AXYY (supermacho)
- b) 2AX0 (síndrome de Turner)
- c) 2AXXX (superfêmea)
- d) 2AXXY (síndrome de Klinefelter)

Espera-se que haja dois corpúsculos de Barr em pessoas com síndrome da superfêmea, porque haverá ainda um cromossomo X ativo, de forma que não exista interferência no desenvolvimento nem no metabolismo da pessoa.

6. Uece (adaptada)

C4-H13

Marque a opção que associe corretamente o tipo de organismos ao seu sistema de determinação do sexo:

- a) Aves apresentam sistema de determinação sexual ZW.
- b) Abelhas melíferas apresentam sistema de determinação sexual diplóide.
- c) Gafanhotos e besouros apresentam sistema de determinação sexual haploide.
- d) Homem apresenta sistema de determinação sexual ZW.

As aves apresentam cromossomos sexuais ZW, sendo que estes são fêmeas e ZZ são machos. As abelhas têm sistema de determinação haploide, no qual o macho é haploide e a fêmea é originada da fecundação, ou seja, é diplóide. Gafanhotos e besouros apresentam sistema de determinação sexual XO, em que a fêmea é XX e o macho é X0. Os humanos têm sistema de determinação sexual XY, sendo mulheres XX, e homens, XY.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Reconhecer mecanismos de transmissão da vida, prevendo ou explicando a manifestação de características dos seres vivos.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. UFRGS (adaptada) – Em julho de 2013, pesquisadores da Universidade de Massachusetts publicaram artigo, demonstrando ser possível desligar o cromossomo 21 extra, responsável pela Síndrome de Down. Os autores mimetizaram o processo natural de desligamento

cromossômico conhecido para mamíferos denominado como corpúsculo de Barr.

Assinale com **V** (verdadeiro) ou **F** (falso) as afirmações abaixo, referentes a esse processo natural.

- () O desligamento cromossômico ocorre em fêmeas.
() O cromossomo desligado naturalmente é o X.
() O corpúsculo de Barr corresponde a um cromossomo específico de fêmeas.
() O desligamento cromossômico ocorre a partir da puberdade.

A sequência correta de preenchimento dos parênteses, de cima para baixo, é

- a) V-V-F-F.
b) V-F-V-F.
c) F-V-V-F.
d) F-F-V-V.
e) V-F-F-V.

8. Sistema Dom Bosco – Cite espécies de animais que apresentem o sistema X0 de determinação sexual, explique qual sexo é heterogamético e indique os prováveis gametas gerados por cada sexo.

9. UPE-PE – A determinação do sexo nos seres vivos está condicionada a diversos sistemas que envolvem processos e mecanismos distintos, importantes para a perpetuação e manutenção das espécies. Na maioria dos casos, é determinado por mecanismos genéticos, que caracterizam os sexos opostos. Em alguns grupos de organismos, um par de cromossomos sexuais é diferenciado no cariótipo de indivíduos do sexo feminino e do sexo masculino; em outros, não há diferenças morfológicas entre os cromossomos, embora alguns deles contenham os genes que definem os sexos. Em relação aos sistemas de determinação do sexo, analise as afirmativas a seguir:

- I. Na maioria das espécies, indivíduos sem cromossomo “X” ou “Z” não conseguem sobreviver por possuírem grande quantidade de genes envolvidos em diversas características, enquanto o cromossomo “Y” ou “W” não afeta a sobrevivência por apresentar pouquíssimos genes.
- II. Nas espécies díicas, tais como a maioria dos vertebrados e das plantas com flores, a determinação do sexo por intermédio do sistema XY ocorre no momento da fecundação e depende da ação de genes específicos, que atuam no desenvolvimento do novo organismo, tornando-o macho ou fêmea.
- III. No sistema de determinação sexual XY, as fêmeas são capazes de originar apenas um tipo de gameta, com metade dos alossomos e um autossomo sempre X. Já o macho é heterogamético, produzindo gametas com autossomo X ou autossomo Y.
- IV. No sistema de determinação X0, as fêmeas são homogaméticas por possuírem cromossomos homólogos (XX), originando apenas um tipo de gameta, e os machos são heterogaméticos por possuírem

cromossomos homólogos (X0), originando dois tipos de gametas.

- V. No sistema de herança sexual ZW de algumas espécies de répteis e aves, a heterogamia e mostrada pelas fêmeas, por apresentar cromossomos sexuais (ZW), enquanto a homogamia é mostrada pelo macho (ZZ), assim é a fêmea que determina o sexo da prole.

Estão corretas, apenas

- a) I, II, IV e V. d) I, II, III e IV.
b) I, II, III e V. e) I, II e III.
c) I, II e V.

10. Unicentro-PR (adaptada) – Na maioria das espécies animais, o ambiente externo não influencia na determinação do sexo, que é definido pela constituição cromossômica dos indivíduos. Nesses casos, a diferença entre machos e fêmeas reside geralmente em um par de cromossomos chamados de cromossomos sexuais. Com relação aos sistemas de determinação do sexo, considere as afirmativas a seguir.

- I. O corpúsculo de Barr é um cromossomo X presentes em células femininas que se encontra inativo, na periferia do núcleo.
- II. No sistema XY, as fêmeas têm um par de cromossomos sexuais homólogos, enquanto os machos têm um dos cromossomos sexuais correspondentes aos da fêmea e outro tipicamente masculino.
- III. No sistema X0, machos e fêmeas diferem entre si quanto a um par de cromossomos, sendo que as fêmeas possuem o par heteromórfico, ou seja, apresentam dois cromossomos sexuais diferentes.
- IV. No sistema ZW, os machos têm um número ímpar de cromossomos no cariótipo, um a menos que as fêmeas.

Assinale a alternativa correta.

- a) Somente as afirmativas I e II são corretas.
b) Somente as afirmativas I e IV são corretas.
c) Somente as afirmativas III e IV são corretas.
d) Somente as afirmativas I, II e III são corretas.
e) Somente as afirmativas II, III e IV são corretas.

11. Unifesp (adaptada) – Os gatos possuem 38 cromossomos, com o sistema XX/XY de determinação sexual. No desenvolvimento embrionário de fêmeas, um dos cromossomos X é inativado aleatoriamente em todas as células do organismo. Em gatos domésticos, a pelagem de cor preta (dominante) e amarela (recessiva) são determinadas por alelos de um gene localizado no cromossomo X. Fêmeas heterozigóticas para cor da pelagem são manchadas de amarelo e preto. Um geneticista colocou um anúncio oferecendo recompensa por gatos machos manchados de amarelo e preto. Cite como é chamada a inativação do cromossomo X, onde ele é encontrado e dê a constituição cromossômica dos gatos machos que apresentem essa característica.

12. Acafe-SC (adaptada) – Lagartos australianos que mudam de sexo em função do clima foram descritos em um estudo publicado em 01/07/2015 na revista *Nature*. As análises mostram que onze indivíduos nascidos de ovos incubados em temperaturas mais altas tinham um conjunto de cromossomos do sexo masculino, mas formaram indivíduos do sexo feminino. Estes indivíduos passaram facilmente de um sexo controlado geneticamente a um sexo controlado pela temperatura. Os pesquisadores também observaram que quando essas fêmeas de sexo invertido acasalam com os machos, o sexo de sua prole é inteiramente determinado pela temperatura de incubação dos ovos.

Nesse sentido, analise as afirmações a seguir e marque **V** para as verdadeiras e **F** para as falsas.

() Pela análise do cariótipo, podemos distinguir o sexo em numerosos seres vivos. Esse fato decorre da existência de um sistema genético de determinação do sexo, condicionado por cromossomos especiais, denominados cromossomos sexuais.

() No sistema de determinação do sexo ZW, o macho apresenta dois cromossomos sexuais iguais, ZZ (homogamético), enquanto a fêmea apresenta dois diferentes, um Z e outro W (heterogamética). Este sistema aparece em algumas espécies de peixes, de répteis e de aves.

() Na espécie humana, alguns genes se situam no cromossomo X. A herança desse tipo é denominada herança ligada ao sexo. Quando a manifestação de uma característica ligada ao sexo deve-se a um gene recessivo, o menino herdará da mãe; quando dominante; o pai passará para todas as suas filhas.

() Na ordem Hymenoptera encontram-se espécies, como as abelhas, cuja determinação sexual não envolve cromossomos sexuais. Os ovócitos fecundados produzem fêmeas diploides, portanto férteis, enquanto os ovócitos não fecundados produzem, partenogeneticamente, machos haploides e fêmeas estéreis.

() A herança influenciada pelo sexo é determinada por genes localizados nos cromossomos autossômicos cuja expressão é, de alguma forma, influenciada pelo sexo do portador. Como exemplo de fator que influencia na expressão desses genes, podemos citar os hormônios sexuais.

A sequência correta, de cima para baixo, é

- a) V-F-V-V-F. c) V-V-V-F-V.
b) F-F-V-F-V. d) F-V-F-V-F.

13. UPE-PE (adaptada) – Em gatos malhados, certas regiões do corpo apresentam coloração preta (XP) ou amarelo-alaranjado (XA), relacionadas a genes presentes no cromossomo X, entremeadas por áreas de pelos brancos, condicionadas pela ação de genes autossômicos de caráter recessivo (bb). As fêmeas heterozigotas apresentam três cores e recebem a denominação de cálico, enquanto os machos possuem apenas duas cores. No Texas (EUA), ocorreu a clonagem de uma gatinha cálico chamada Rainbow. A clonagem é um processo em que uma célula somática é fusionada a um óvulo anucleado por impulsos elétricos. Além disso, o processo não interfere no conjunto gênico do indivíduo, nem na forma em que são expressos. Para surpresa dos pesquisadores, o clone que deveria ser idêntico à matriz apresentou um padrão de manchas diferentes do original. Isso ficou conhecido como o caso Carbon Copy ou Copy Cat. A clonagem da gatinha não foi bem-sucedida devido à(ao):

- a) adição de um cromossomo X em certo par, constituindo uma trissomia e elevando a homozigose; por isso, a clonagem de um cálico nunca resultará em um mesmo padrão.
b) deleção de determinada região do cromossomo X, causando um fenótipo diferente do esperado, visto Carbon Copy ter sido criada a partir de um óvulo que se misturou com o núcleo de Rainbow.
c) efeito pleiotrópico, no qual a ação do par de genes é responsável pela ocorrência simultânea de diversas características que ativa os dois cromossomos X da fêmea, no caso de haver clonagem.
d) processo de inativação ao acaso de um dos cromossomos X da fêmea, relacionado a genes que aparecem em heterozigose, resultando em padrão de pelagem diferente, mesmo quando os indivíduos são geneticamente idênticos.
e) tipo de herança quantitativa, em que os genes possuem efeito aditivo e recebem o nome de poligenes. Assim, em cada gata, haverá um padrão de pelagem diferente, pois só funcionará um cromossomo X por indivíduo.

14. UFRR – Nas células somáticas de fêmeas de mamíferos, acredita-se que a condensação de um dos cromossomos X das fêmeas seja uma estratégia para inativar os genes nele contidos. Esse mecanismo é chamado de compensação de dose.

Sobre esse mecanismo é incorreto afirmar que

- a) machos (XY) não possuem cromatina sexual, também chamada de corpúsculo de Barr.
b) fêmeas (XX) apresentam cromatina sexual, também chamada de corpúsculo de Barr.
c) a cromatina sexual permite diferenciar células dos dois sexos, uma vez que as células femininas são cromatina sexual negativas, enquanto as células masculinas são cromatina sexual positivas.
d) o cromossomo X inativo torna-se extremamente condensado e assume aspecto de um pequeno grânulo no núcleo das células em interfase e recebe o nome de cromatina sexual ou corpúsculo de Barr.
e) indivíduos com síndrome de Turner (X0) não apresentam cromatina sexual, apesar de serem fenotipicamente femininos.

15. Sistema Dom Bosco – Considere o cruzamento entre moscas-da-fruta (*Drosophila melanogaster*). A respeito de sua determinação sexual, podemos afirmar que

- a) é impossível calcular a probabilidade de indivíduos com cariótipo AA+XX serem gerados.
b) moscas-da-fruta pertencem ao sistema de determinação sexual ZW.
c) indivíduos do sexo feminino são gerados por partenogênese.
d) a probabilidade de um indivíduo dessa espécie ser macho é de 66%.
e) machos dessa espécie são do sexo homogamético.

16. FGV (adaptada) – “Uma equipe de investigadores da Escócia estudou três galináceos ginandromorfos, ou seja, com características de ambos os sexos. Um dos galináceos estudados, batizado de Sam, apresenta lado esquerdo do corpo com penugem esbranquiçada e os músculos bem desenvolvidos, como observado em galos. Já no lado direito do corpo, as penas são castanhas e os músculos mais delgados, como é normal

nas galinhas. No caso dos galináceos, a determinação sexual ocorre pelo sistema ZW."

Admitindo-se que Sam apresente perfeita diferenciação cromossômica nas células dos lados direito e esquerdo do corpo, e uma gônada de cada lado, é correto afirmar que a gônada do lado

- esquerdo produz espermatozoides, constituídos pelo cromossomo Z, ou pelo cromossomo W.
- esquerdo produz óvulos, constituídos apenas pelo cromossomo Z.
- direito produz óvulos, constituídos apenas pelo cromossomo W.
- direito produz óvulos, constituídos pelo cromossomo Z, ou pelo cromossomo W.
- direito produz óvulos, constituídos pelo cromossomo W.

17. Sistema Dom Bosco – Em moscas-da-fruta (*Drosophila melanogaster*), a relação entre o número de cromossomos X e a quantidade de conjuntos de cromossomos autossômicos possibilita calcular a probabilidade sexual da existência de determinados indivíduos. Considere um indivíduo que apresente o cariótipo AAAXY e calcule a probabilidade de ele ser gerado.

ESTUDO PARA O ENEM

18. Sistema Dom Bosco

C4-H13

No ano 2000, Duz e colaboradores realizaram exames histológicos da polpa dentária em dentes íntegros de pacientes odontológicos entre 10 e 30 anos de idade com o intuito de identificar o sexo dos indivíduos. As lâminas histológicas foram produzidas e apresentaram fibroblastos que continham ou não a presença da cromatina sexual.

Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/289143/1/Duz_Sergio_M.pdf>.
Acesso em: jan. 2019. (Adaptado)

Sabendo-se que foram produzidas lâminas histológicas que apresentavam fibroblastos com ou sem cromatina sexual,

- foi possível identificar o sexo em razão do número de fibroblastos.
- foi possível identificar o sexo, pois indivíduos do sexo masculino não apresentam cromatina sexual condensada na periferia do núcleo.
- foi possível identificar o sexo, pois indivíduos do sexo feminino não apresentam cromatina sexual condensada na periferia do núcleo.
- não foi possível identificar o sexo, pois as cromatinas sexuais só aparecem nos gametas.
- não foi possível identificar o sexo, pois esse método é falho.

19. Sistema Dom Bosco

C4-H13

Pesquisadores brasileiros descobriram na floresta amazônica a espécie com o maior número de cromossomos sexuais de que se tem notícia no reino animal dos vertebrados. Ela é a *Leptodactylus pentadactylus*, uma grande rã que vive em meio ao folheto no chão da mata e que, segundo os cientistas, tem 6 pares de cromossomos X ou Y — um par a mais do que o famoso (e esquisito) ornitorrinco, que era o detentor do recorde até agora. "Isso é inédito e mostra um sistema totalmente diferente do que já é conhecido para vertebrados", explica a professora Patrícia Maltempo. "Esses dados são só o início para muita coisa que ainda temos para estudar e mostrar sobre a determinação do sexo, e a relação disso com a evolução em geral."

ESCOBAR, Herton. Rã brasileira é nova recordista mundial de cromossomos sexuais. Estadão [on-line]. 31 jan. 2018.

Disponível em: <<https://ciencia.estadao.com.br/blogs/herton-escobar/ra-brasileira-e-nova-recordista-mundial-de-cromossomos-sexuais/>>. Acesso em: jan. 2019. (Adaptado)

Descobertas como essas sobre a determinação do sexo indicam que

- só existe o sistema de determinação sexual XY nos organismos.
- os cromossomos sexuais não são informativos para estudos evolutivos.
- fêmeas do sistema XY apresentam cromossomos XY.
- machos do sistema XY apresentam cromossomos ZW.
- fêmeas do sistema XY apresentam cromossomos XX e, nesse caso, terão cariótipo AA + XXXXXX.

20. Sistema Dom Bosco

C4-H13

Especialmente relevante para entender a evolução dos sistemas de determinação sexual foi a descoberta de que a cadeia de cromossomos dos ornitorrincos tem genes típicos dos cromossomos X de mamíferos e Z de aves, de acordo com artigo publicado por Grützner em 2004 na revista *Nature*. É um indício de origem comum entre esses sistemas que até então se acreditava terem surgido de forma independente. Mesmo assim, até agora não está claro qual gene determina os sexos nesse animal.

GUIMARÃES, Maria. *Mistérios de ser macho ou fêmea*. Pesquisa Fapesp. [on-line]. mar. 2018. ed. 2018. Disponível em: <http://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2018/03/058_cromossomos_265.pdf>.
Acesso em: jan. 2019.

O que irá definir o sexo dos ornitorrincos será o conceito segundo o qual

- machos do sistema XY determinam o sexo de suas proles porque produzem gametas com cromossomos X e com Y.
- fêmeas do sistema XY são o sexo heterogamético.
- machos do sistema ZW são o sexo heterogaméticos.
- machos do sistema ZW determinam o sexo de suas proles porque produzem gametas com cromossomos Z e com W.
- fêmeas do sistema ZW são homogaméticas, apresentando cromossomos ZZ.

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO



BLEND IMAGES / ALAMY STOCK PHOTO

MATERIAL DE ENSINO
SISTEMA DE ENSINO DOMBOSCO

BIOLOGIA 1B

CIÊNCIAS DA NATUREZA E SUAS TECNOLOGIAS

39

HERANÇA RELACIONADA AO SEXO

- Herança ligada ao cromossomo X
- Herança holândrica (ligada ao cromossomo Y)
- Outros mecanismos de herança relacionada ao sexo

HABILIDADES

- Compreender a transmissão das características relacionadas ao sexo.
- Reconhecer os principais tipos de herança relacionada ao sexo.
- Citar alguns exemplos clássicos de heranças relacionadas ao sexo.
- Entender a importância de investigar a origem da transmissão de determinadas características.

A adrenoleucodistrofia (ADL) é uma doença genética recessiva ligada ao cromossomo X. Ela afeta a substância branca do sistema nervoso central, composta basicamente de axônios, os quais são responsáveis por grande parte da transmissão dos impulsos nervosos do corpo. Os filhos do sexo masculino que apresentam essa condição obrigatoriamente receberam o cromossomo X defeituoso da mãe. Existem formas diferentes da doença, como a neonatal e a adulta, sendo a primeira a mais comum e mais grave manifestação dessa patologia.

Trata-se de uma doença que promove distúrbios no metabolismo dos ácidos graxos de cadeia longa, que se acumulam no sistema nervoso central e nas adrenais, causando destruição da mielina dos axônios. Isso gera prejuízos à visão, à fala e à audição dos portadores dessa patologia. Além disso, esses indivíduos apresentam perda de memória, irritabilidade e insuficiência adrenal gradativas. Caso o diagnóstico seja precoce, o transplante de medula óssea é uma boa opção para o tratamento da doença.

Os sintomas progressivos da ADL foram retratados no filme *O óleo de Lorenzo*, dirigido por George Miller, em 1992. A história narra a luta incansável dos médicos e dos pais do garoto Lorenzo, de apenas 6 anos, para encontrar um meio de deter o avanço da doença.



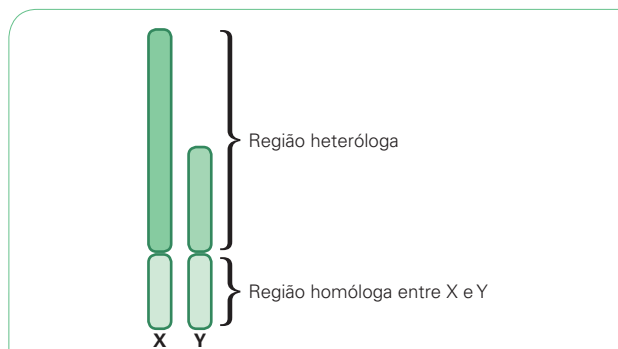
Cena do filme *O óleo de Lorenzo*.

RONALD GRANT ARCHIVE / ALAMY STOCK PHOTO

HERANÇA LIGADA AO CROMOSSOMO X

Os casos de herança relacionada ao sexo são classificados de acordo com os alelos presentes exclusivamente nos cromossomos sexuais, que influenciam tanto nas características sexuais do indivíduo quanto em outros aspectos, como cor dos olhos e coagulação sanguínea.

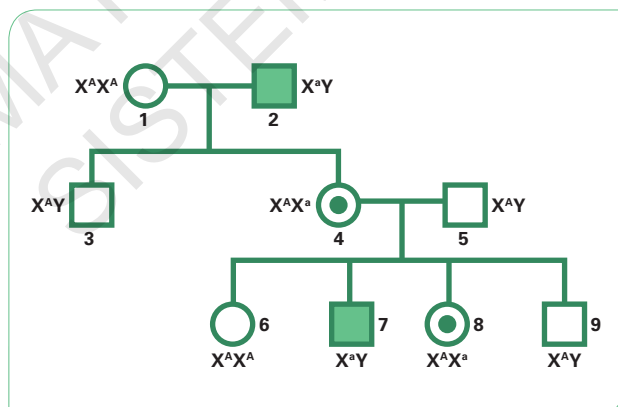
Embora os cromossomos X e Y sejam diferentes morfológicamente, eles apresentam uma pequena **região homóloga**, isto é, com as mesmas informações genéticas de correspondência entre si. Por outro lado, esses cromossomos também têm uma **região heteróloga**, com informações sem nenhuma correspondência, completamente diferentes entre si. Dessa forma, pelo fato de pessoas do sexo feminino apresentarem dois cromossomos X em seu cariótipo, há duas porções homólogas em seus cromossomos sexuais. Já pessoas do sexo masculino, por apresentarem cromossomos sexuais XY, têm uma região homóloga do Y com o X e uma região heteróloga.



Representação das regiões homóloga e heteróloga entre os cromossomos X e Y. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Como os alelos da porção **homóloga** dos cromossomos sexuais são em dose dupla, independentemente do sexo biológico, sua transmissão é semelhante à de alelos de cromossomos autossômicos, sendo conhecida como **herança parcialmente ligada ao sexo**. A cegueira total para cores (acromatopsia total) é um exemplo desse tipo de herança. O indivíduo com essa patologia é incapaz de distinguir as cores.

Por outro lado, a **herança ligada ao X** ocorre quando os alelos se encontram na região **heteróloga** do cromossomo X. Portanto, como mulheres têm dois cromossomos X, os alelos aparecem em dose dupla. Já os homens, por terem apenas um cromossomo X, apresentam apenas um alelo. A presença de um alelo recessivo no cromossomo X do homem é suficiente para uma patologia ser manifestada, uma vez que não há um alelo dominante para impedir sua expressão. Na mulher, por outro lado, para que o alelo recessivo seja expresso, é necessário que ele esteja presente em dose dupla.



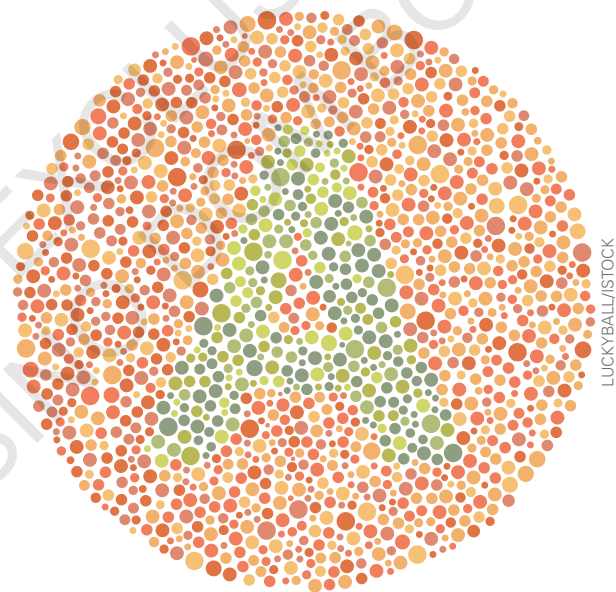
Representação das regiões homóloga e heteróloga entre os cromossomos X e Y. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Nesse heredograma, os indivíduos 2 e 7 são do sexo masculino e apresentam apenas um alelo recessivo, o qual é suficiente para manifestar a doença. As mulheres podem ter o gene recessivo ligado ao cromossomo X e não ser afetadas, em virtude de apresentarem o alelo dominante no outro cromossomo X.

Os principais exemplos de herança ligada ao sexo na espécie humana são o daltonismo, a hemofilia e a distrofia muscular de Duchenne. Na sequência, abordaremos cada uma dessas doenças.

DALTONISMO

O daltonismo (ou cegueira parcial das cores) é a incapacidade de distinguir cores, geralmente o verde e o vermelho. Provocado por uma condição de herança recessiva ligada ao X, o alelo recessivo se encontra na região heteróloga do cromossomo X.



Indivíduos daltônicos não conseguem ler a letra "A" desta figura, pelo fato de não distinguirem o verde e o vermelho.

O daltonismo não se manifesta em mulheres heterozigotas (genótipo $X^D X^d$). No entanto, elas podem transmitir o alelo recessivo para seus descendentes. Por esse motivo, são chamadas *portadoras*. As doenças recessivas ligadas ao sexo têm maior incidência em homens, pelo fato de receberem apenas um cromossomo X. Aqueles afetados pela herança ligada ao cromossomo X são conhecidos como **hemizigotos**, por não serem heterozigotos nem homozigotos para a condição, visto que não apresentam dois alelos homólogos.

Genótipo	Fenótipo
$X^D X^D$	Mulher normal
$X^D X^d$	Mulher normal portadora
$X^d X^d$	Mulher daltônica
$X^D Y$	Homem normal
$X^d Y$	Homem daltônico

Possíveis genótipos e fenótipos para o daltonismo.

HEMOFILIA

Trata-se de um distúrbio de herança recessiva ligada ao cromossomo X, no qual as proteínas denominadas **fator VIII** (hemofilia tipo A) ou **fator IX** (hemofilia tipo B) estão ausentes na cascata de coagulação sanguínea (nome dado à sequência de reações interligadas durante o processo de coagulação). Sem essas proteínas, indivíduos hemofílicos apresentam graves hemorragias mesmo depois de traumatismos banais, como um arranhão ou a extração de um dente. O tratamento consiste na administração do fator deficiente purificado (VIII para hemofílicos do tipo A e IX para os do tipo B) ou na transfusão de sangue de pessoas normais que têm a proteína necessária.

No Brasil, a hemofilia ocorre, em média, em 1 a cada 25 mil pessoas. É mais frequente que o daltonismo, que atinge, em média, 1 a cada 45 mil pessoas.

Existe a ideia de que não há mulheres hemofílicas, uma vez que todas morreriam nos primeiros ciclos menstruais. Porém, essa afirmação é falsa, pois a interrupção do sangramento menstrual se deve à constricção dos vasos sanguíneos do endométrio e à regeneração desse epitélio por ação de hormônios sexuais femininos, como o estrógeno.

A frequência de mulheres hemofílicas é calculada da seguinte forma: se a ocorrência de homens hemofílicos é, em média, de 1 a cada 30 mil homens, as mulheres hemofílicas são $(1/30000)^2$, uma vez que elas precisam ter alelo recessivo em **dose dupla** para ser afetadas pela doença. Já o homem necessita de apenas um alelo recessivo.

Observe no quadro a seguir os diferentes fenótipos para hemofilia, elaborados por meio do cruzamento dos genótipos.

Genótipo	Fenótipo
$X^H X^H$	Mulher normal
$X^H X^h$	Mulher normal portadora
$X^h X^h$	Mulher hemofílica
$X^H Y$	Homem normal
$X^h Y$	Homem hemofílico

Possíveis genótipos e fenótipos para a hemofilia.

DISTROFIA MUSCULAR DE DUCHENNE

Essa doença ocorre em 3 a cada 100 mil pessoas. Tem caráter degenerativo e apresenta herança recessiva ligada ao X. Indivíduos do sexo masculino predominantemente são os mais atingidos. Pessoas que apresentam essa doença raramente chegam à idade adulta, em razão da perda progressiva da capacidade motora. Em estágios avançados, ocorre inclusive a incapacidade de respiração. É causada por uma mutação no gene de uma proteína cuja função é manter a integridade da fibra muscular.

DISABILITY IMAGES / ALAMY STOCK PHOTO



Homem afetado pela distrofia muscular de Duchenne.

Não há relato de mulheres afetadas pela doença, pois, para que a manifestem, precisam ter os alelos recessivos em dose dupla, sendo um deles herdado do pai. Como a maioria dos homens afetados não atinge a puberdade, logo não consegue transmitir o alelo recessivo adiante. Portanto, mulheres afetadas apresentam genótipo $X^a X^a$, enquanto homens com a doença têm genótipo $X^a Y$.

Observe o quadro.

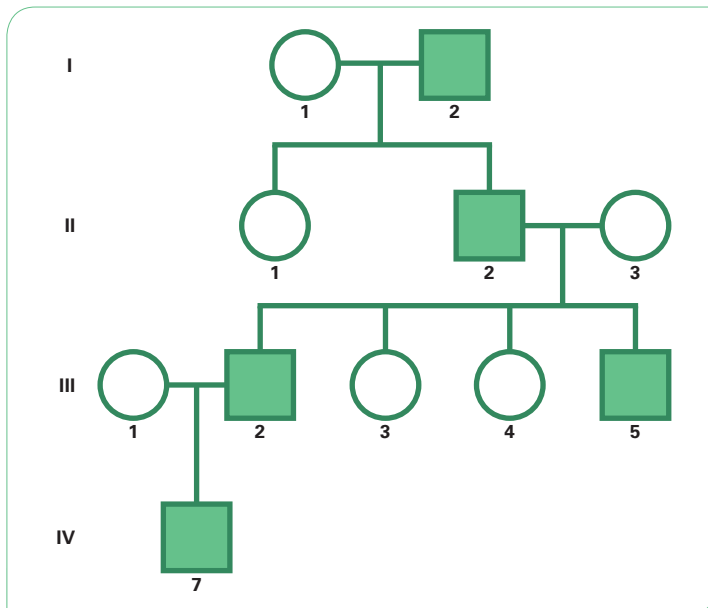
Genótipo	Fenótipo
$X^A X^A$	Mulher normal
$X^A X^a$	Mulher normal portadora
$X^a X^a$	Mulher doente
$X^A Y$	Homem normal
$X^a Y$	Homem doente

Possíveis genótipos e fenótipos para a distrofia muscular de Duchenne.

HERANÇA HOLÂNDRICA (LIGADA AO CROMOSSOMO Y)

É condicionada por alelos que se encontram na região heteróloga do cromossomo Y, isto é, que estão diretamente ligados às características masculinas. Por esse motivo, a herança holândrica também pode ser chamada **herança restrita ao sexo**. Dessa forma, as características relacionadas ao cromossomo Y são transmitidas apenas do pai para os filhos homens.

Alguns casos de esterilidade podem ocorrer por deleção de determinados genes. Um exemplo é o gene SRY (do inglês *sex-determining region Y*), que codifica o fator determinante dos testículos e está presente na região heteróloga do cromossomo Y. Existem estudos que relacionam a esterilidade a uma mutação no gene USP9Y, que pode causar a produção de espermatozoides disfuncionais.



Heredograma que exemplifica uma característica ligada ao cromossomo Y. Todos os filhos do sexo masculino de um pai afetado também serão acometidos pela patologia, uma vez que recebem a cópia do cromossomo Y do pai.

OUTROS MECANISMOS DE HERANÇA RELACIONADA AO SEXO

HERANÇA COM EFEITO LIMITADO AO SEXO

Refere-se aos genes presentes em ambos os sexos, mas que se manifestam apenas em um deles. Exemplos dessa herança são: aumento de pelos no corpo; voz grave e ombros largos em homens; crescimento dos seios; alargamento da bacia e menstruação em mulheres.

A presença de pelos em excesso nas orelhas, também conhecida como hipertricose auricular, era considerada uma herança ligada ao cromossomo Y. No entanto, descobriu-se depois que ela ocorre em virtude de um gene autossômico dominante, raro na população em geral, mas frequente na Índia.

HERANÇA INFLUENCIADA PELO SEXO

São heranças localizadas em genes autossômicos cuja expressão é influenciada pelo sexo e pela ação hormonal. No caso da calvície, por exemplo, o alelo C é dominante nos homens, enquanto em mulheres há maior ocorrência do alelo recessivo c. Dessa forma, indivíduos do sexo feminino só apresentam calvície se tiverem o genótipo CC. Já os do sexo masculino podem apresentar tal fenótipo tendo genótipos CC ou Cc. Os mecanismos envolvidos nessa influência estão principalmente relacionados à produção de hormônios, o que, por sua vez, pode estar ligado a genes localizados nos cromossomos sexuais do indivíduo.



SELECTISTOCK/STOCK

Os genes de produção de leite são transmitidos aos descendentes, mas se manifestam apenas nas mulheres. Esse é outro exemplo de herança limitada ao sexo.



LEBLOND CATHERINE / ALAMY STOCK PHOTO

A calvície é um exemplo de herança influenciada pelo sexo.

ROTEIRO DE AULA

HERANÇA RELACIONADA AO SEXO

HERANÇA LIGADA AO CROMOSSOMO X

Os genes se encontram na região heteróloga do cromossomo X

Pessoas portadoras apresentam genótipo heterozigoto

Homens são hemizigotos por terem apenas um cromossomo X

HERANÇA LIGADA AO CROMOSSOMO Y

Também chamada de herança holandrica

O pai transmite suas características apenas para filhos do sexo masculino

OUTROS MECANISMOS DE HERANÇA RELACIONADOS AO SEXO

HERANÇA COM EFEITO LIMITADO AO SEXO

Os genes existem no(s) sexo(s) masculino e feminino

Manifesta-se apenas em um dos sexos

HERANÇA INFLUENCIADA PELO SEXO

Genes localizados em cromossomos autossômicos cuja expressão é influenciada pelo sexo

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. Sistema Dom Bosco – O daltonismo é a incapacidade parcial de se distinguir cores. A doença ocorre quase exclusivamente em homens. Essa prevalência pode ser explicada pela seguinte afirmação:

- a) A doença está ligada ao cromossomo X com alelo pouco frequente. Para serem daltônicas, mulheres teriam que apresentar esse alelo em dose dupla.
- b) A doença está ligada aos cromossomos sexuais X e Y. Os homens apresentam esse alelo em dose dupla.
- c) Mulheres apresentam o alelo em dose dupla, mas não manifestam a característica em razão da existência de outro gene que o inibe.
- d) A doença está ligada ao cromossomo X com alelo muito frequente. Os homens apresentam esse alelo em dose única.

O daltonismo é uma doença de herança recessiva ligada ao cromossomo X. Portanto, para que uma mulher seja afetada, é preciso que ela tenha o genótipo X^dX^d . Por outro lado, um homem precisa apenas de uma cópia do alelo recessivo (genótipo X^dY).

2. Fatec-SP (adaptada) – Na espécie humana, a determinação cromossômica do sexo é dada pelos cromossomos X e Y. O cromossomo Y apresenta genes holândricos, isto é, genes que não possuem homologia com o cromossomo X. As características condicionadas por tais genes são

- a) transmitidas da mãe para 100% das filhas.
- b) transmitidas do pai para 100% dos filhos homens.
- c) transmitidas do pai só para algumas filhas.
- d) transmitidas para filhos e filhas.
- e) ocorre somente em mulheres.

Genes holândricos são aqueles que dão características específicas ao sexo. No caso do cromossomo Y, como ele existe apenas no sexo masculino, obrigatoriamente, o pai transmite as características do seu cromossomo Y para todos os filhos do sexo masculino.

3. Uncisal (adaptada) – Hemofilia é uma doença genético-hereditária que se caracteriza por desordem no mecanismo de coagulação do sangue e manifesta-se quase predominantemente no sexo masculino. As manifestações clínicas da hemofilia incluem sangramentos prolongados e repetidos, atingindo, principalmente, as articulações e os músculos. Por ser hereditária, esta condição é transmitida dos pais para os filhos no momento em que a criança é gerada. Um homem hemofílico casa-se com mulher normal homocigota e o casal gera uma filha. Qual a chance desta filha carregar o gene para hemofilia e ainda ser normal?

A chance de essa filha carregar o gene para hemofilia e ser normal é de

100%, pois ela recebe um cromossomo X do pai. Pelo fato de ele ser hemofílico (genótipo X^dY), automaticamente terá uma cópia desse alelo.

Como a mãe é normal e homocigota (X^DX^D), a filha receberá outra cópia do cromossomo X da mãe, apresentando, dessa forma, o alelo dominante. Portanto, obrigatoriamente a filha terá o genótipo X^DX^d .

4. Unita-SP (adaptada) – A hipertricose auricular (pelos na orelha em excesso) é transmitida apenas pelo homem e somente para os filhos do sexo masculino. Esse fenômeno apresenta herança

- a) recessiva ligada ao X. d) influenciada pelo sexo.
- b) dominante ligada ao X. e) autossômica recessiva.
- c) limitada ao sexo.

Esse fenômeno ocorre em virtude de genes presentes em ambos os sexos, mas que se manifestam apenas em um deles. Por isso, apresenta herança limitada ao sexo.

5. UPF-RS (adaptada) – O quadro abaixo trata dos tipos de herança de genes localizados em cromossomos sexuais. Associe corretamente os tipos de herança da primeira coluna com sua respectiva descrição, na segunda coluna.

Tipos de herança	Descrição e exemplos
(a) Herança holândrica	<input type="checkbox"/> Está relacionada a genes localizados na porção não homóloga do cromossomo X.
(b) Herança influenciada pelo sexo	<input type="checkbox"/> Está relacionada a genes localizados na parte homóloga dos cromossomos X e Y, ou nos autossomos, cuja dominância ou recessividade é influenciada pelo sexo do portador.
(c) Herança ligada ao sexo	<input type="checkbox"/> Está relacionada a genes localizados na porção do cromossomo Y sem homologia com o cromossomo X.
(d) Herança limitada ao sexo	<input type="checkbox"/> Os genes existem em ambos os sexos mas se expressam somente em um deles.

A sequência correta de preenchimento dos parênteses, de cima para baixo, é:

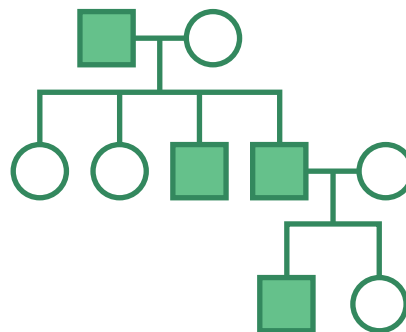
- a) a, b, c, d c) c, a, d, b
- b) c, b, a, d d) a, c, b, d

Herança holândrica é aquela em que os genes se encontram na região heteróloga do cromossomo Y, o qual é responsável pela característica daquele sexo. Herança influenciada pelo sexo é aquela em que ambos os sexos têm os genes, mas a expressão é influenciada pelo sexo. Herança ligada ao sexo se refere àquela em que os genes se encontram na região heteróloga do cromossomo X. Herança limitada ao sexo é aquela em que ambos os sexos apresentam o gene, mas somente em um deles é expresso o fenótipo.

6. Sistema Dom Bosco

C4-H13

O heredograma a seguir demonstra uma anomalia que acomete apenas homens na família.



Qual é o tipo de herança dessa anomalia? Justifique sua resposta.

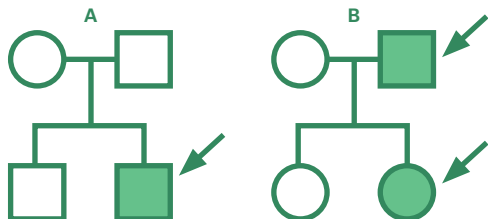
Trata-se de uma herança ligada ao cromossomo Y, porque todos os homens são afetados, sem que haja a transmissão dessa característica às mulheres.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Reconhecer mecanismos de transmissão da vida, prevendo ou explicando a manifestação de características dos seres vivos.

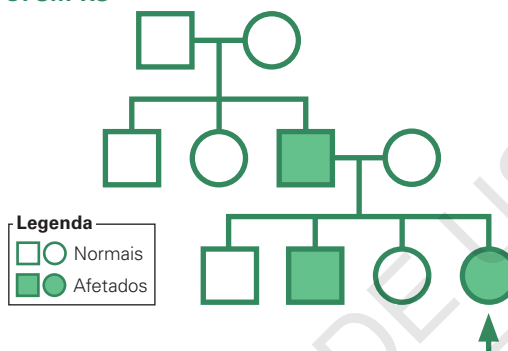
EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. Fac. Albert Einstein-SP – Nos heredogramas abaixo, o casal indicado por A tem dois filhos e o casal indicado por B, duas filhas. As setas indicam pessoas que apresentam uma dada doença:



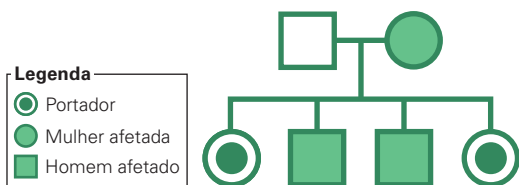
Após a análise dos heredogramas, é possível concluir que a doença

- é obrigatoriamente devido a um gene recessivo localizado no cromossomo.
- é obrigatoriamente devido a um gene autossômico recessivo.
- pode ser devido a um gene dominante, tanto autossômico como no cromossomo X.
- pode ser devido a um gene recessivo, tanto autossômico, como localizado no cromossomo X.

8. UFSM-RS

A figura representa o heredograma de uma família em que ocorre o daltonismo. A pessoa identificada com uma seta se trata de

- uma mulher afetada que tem os dois cromossomos X com o gene recessivo para o daltonismo.
 - uma mulher afetada que tem apenas um dos cromossomos X com o gene recessivo para o daltonismo.
 - um homem que terá descendentes afetados, já que o daltonismo está ligado ao cromossomo X.
 - uma mulher que não terá descendentes afetados pelo daltonismo, o qual está ligado ao cromossomo Y.
 - um homem, já que não existem mulheres afetadas, pois o daltonismo está ligado ao cromossomo Y.
- 9. UERN (adaptada)** – Os genes são os principais fatores determinantes do sexo, pois eles estão situados nos cromossomos sexuais. Por esses cromossomos possuírem também genes para outras características, a transmissão delas guarda alguma relação com o sexo do indivíduo.

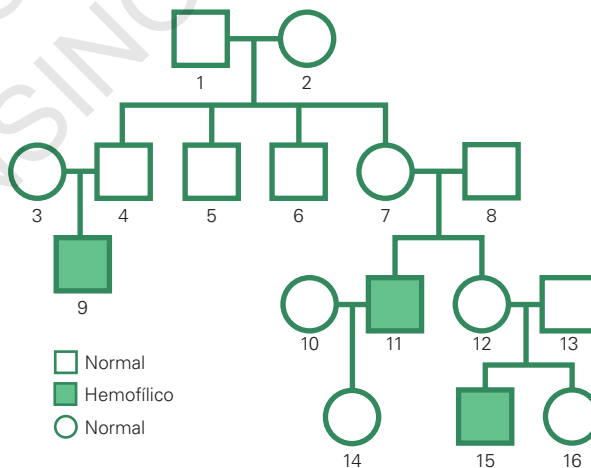


Desse modo, o heredograma pode se referir a um tipo de herança relacionada ao sexo, denominada

- herança restrita ao sexo.
- herança limitada ao sexo.
- herança influenciada pelo sexo.
- herança ligada ao Y.

10. Sistema Dom Bosco – Os caracteres sexuais secundários se manifestam principalmente quando os indivíduos entram na puberdade. São exemplos: ombros largos; pelos no corpo e voz grave em homens; crescimento dos seios, alargamento da bacia e até mesmo a menstruação em mulheres. Portanto, apresentam herança limitada ao sexo. Explique o que isso significa do ponto de vista genético.

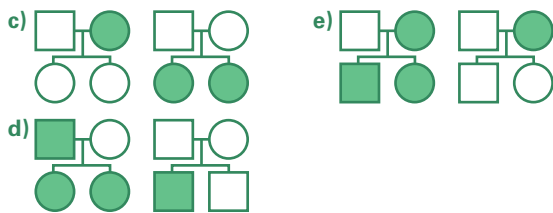
11. Acafe-SC – Hemofilia é um grupo de doenças genéticas e hereditárias que prejudicam a capacidade de coagulação sanguínea, favorecendo hemorragias. Observe a genealogia a seguir e assinale a alternativa correta.



- Como afetou somente homens, é uma herança restrita ao sexo.
- 3 e 7 são obrigatoriamente heterozigotas.
- Homens normais podem ter filhas afetadas.
- 13 pode ser portador de gene da hemofilia.

12. Fuvest-SP (adaptada) – Nos heredogramas apresentados nas alternativas, ocorrem pessoas que têm alterações na formação do esmalte dos dentes, representados por quadrados e círculos coloridos. Os heredogramas em que as alterações do esmalte dos dentes têm herança ligada ao cromossomo X dominante e recessiva, estão representados respectivamente em:



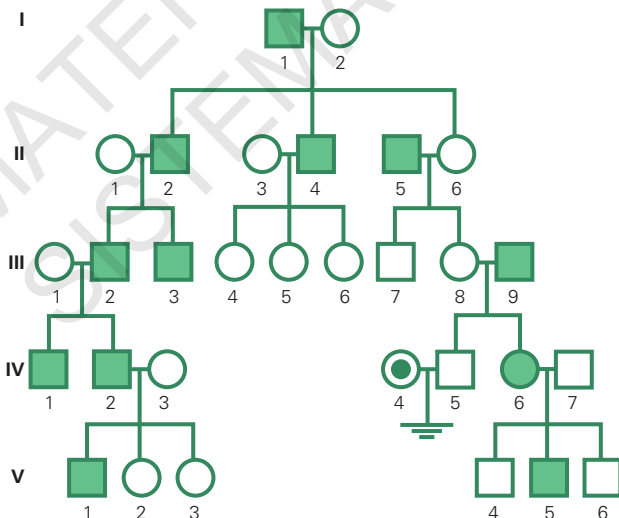


13. Udesc – Um geneticista foi procurado por um casal que desejava ter filhos, mas estava preocupado com a possibilidade de vir a ter um filho com uma determinada doença que ocorria na família de ambos. Após analisar o caso, o geneticista pôde determinar que é uma doença que está ligada ao sexo. Sabendo-se que tanto o homem como a mulher não possuem a doença, mas que a mãe dela é heterozigota e o pai normal, a possibilidade deste casal vir a ter um descendente com a anomalia é de

- a) 50%. c) 12,5%. e) 33%.
b) 25%. d) 75%.

14. Sistema Dom Bosco – A calvície é um distúrbio cujos portadores perdem total ou parcialmente os cabelos. Ocorre com alta frequência nos homens, em razão de fatores genéticos. Entretanto, não é muito comum em mulheres. Explique o motivo para essa diferença e cite qual é o tipo dessa herança.

15. Uncisal – Julia e André se casaram no ano passado e pretendem adotar uma criança em breve, visto que ela é portadora de uma doença e André tem histórico na família dessa doença. Ao se aconselhar com o médico, Julia preferiu não ter filhos. Dadas as assertivas abaixo sobre o heredograma.



- I. Os indivíduos afetados na segunda geração apresentam uma característica holândrica, que é confirmada na geração seguinte.
- II. A característica dominante ou recessiva que o quinto indivíduo da quinta geração apresenta está ligada ao cromossomo X.
- III. O casal 4 e 5 da quarta geração não teve filhos, pois existe 50% de chance de um filho homem ser afetado e 50% de chance de as mulheres serem portadoras do gene afetado.
- IV. O heredograma mostra três doenças ligadas aos cromossomos sexuais, duas no X e uma no Y.
- V. O padrão de herança não é mendeliano.

Verifica-se que estão corretas

- a) II e III, apenas. d) I, IV e V, apenas.
b) II e IV, apenas. e) I, II, III, IV, e V.
c) I, III e V, apenas.

16. Acafe-SC – Pesquisas recentes sugerem que a visão de múltiplas cores teria surgido entre primatas como uma vantagem na detecção e na fuga de predadores. Porém, o daltonismo também teria sido utilizado na busca por alimentos. Revista Ciência hoje. Sobrevivência colorida. (adaptado) 29/08/2014. Acerca das informações acima e dos conhecimentos relacionados ao tema, assinale a alternativa correta:

- a) O daltonismo é uma perturbação da percepção visual caracterizada pela incapacidade de diferenciar todas ou algumas cores. Nos seres humanos é mais comum entre as mulheres, por localizar-se no cromossomo X.
- b) O daltonismo em humanos está na dependência de um gene recessivo ligado ao cromossomo X, por isso denominado de herança ligado ao sexo.
- c) De acordo com a teoria sintética da evolução, a mutação, a seleção e a recombinação são fatores que aumentam a variabilidade genética nas populações.
- d) A vantagem dos primatas que apresentam a visão das cores na detecção e na fuga de predadores está de acordo com as ideias de Lamarck, quando propôs a teoria da Seleção Natural.

17. Unifenas-MG (adaptada) – A distrofia muscular (DM) apresenta incidência de 1 a cada 3500 nascimentos de meninos. Trata-se de uma doença genética, com padrão de herança recessiva ligado ao cromossomo X. Um homem, com DM e com visão normal, se casa com uma mulher sem DM e míope. A primeira criança desse casal é um menino com DM e míope. Sabendo que a miopia é devido a um gene autossômico recessivo, qual a probabilidade de esse casal, em gestações independentes e consecutivas, ter duas crianças do sexo masculino com visão normal e sem DM?

ESTUDO PARA O ENEM

18. Enem

C4-H13

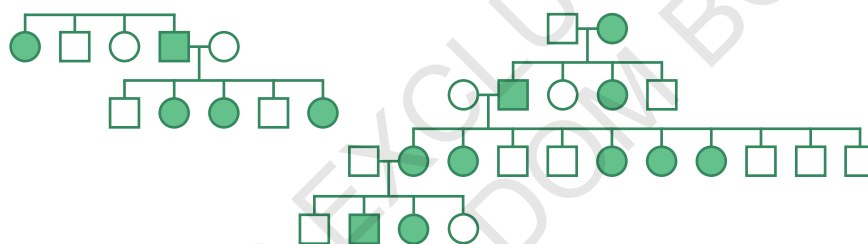
Os indivíduos de uma população de uma pequena cidade, fundada por uma família de europeus, são, frequentemente, frutos de casamentos consanguíneos. Grande parte dos grupos familiares dessa localidade apresenta membros acometidos por uma doença rara, identificada por fraqueza muscular progressiva, com início aos 30 anos de idade. Em famílias com presença dessa doença, quando os pais são saudáveis, somente os filhos do sexo masculino podem ser afetados. Mas em famílias cujo pai é acometido pela doença e a mãe é portadora do gene, 50% da descendência, independente do sexo, é afetada. Considerando as características populacionais, o sexo e a proporção dos indivíduos afetados, qual é o tipo de herança da doença descrita no texto?

- a) Recessiva, ligada ao cromossomo X. d) Recessiva autossômica.
 b) Dominante, ligada ao cromossomo X. e) Dominante autossômica.
 c) Recessiva, ligada ao cromossomo Y.

19. Enem

C4-H13

No heredograma, os símbolos preenchidos representam pessoas portadoras de um tipo raro de doença genética. Os homens são representados pelos quadrados e as mulheres, pelos círculos.



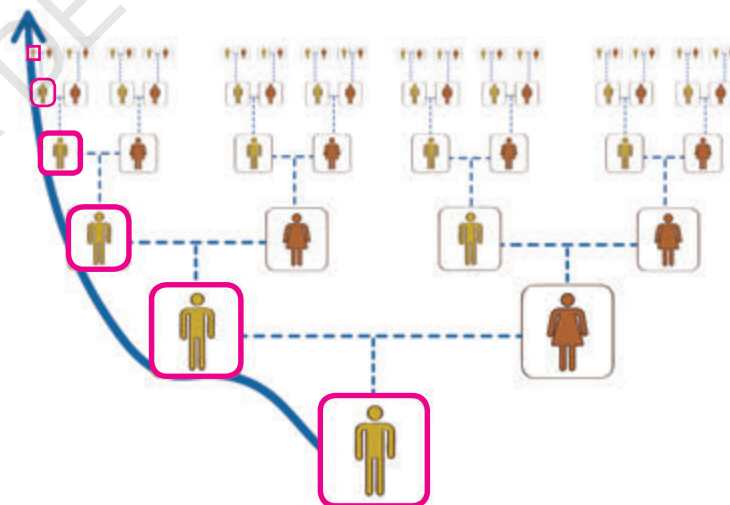
Qual é o padrão de herança observado para essa doença?

- a) Dominante autossômico, pois a doença aparece em ambos os sexos.
 b) Recessivo ligado ao sexo, pois não ocorre a transmissão do pai para os filhos.
 c) Recessivo ligado ao Y, pois a doença é transmitida dos pais heterozigotos para os filhos.
 d) Dominante ligado ao sexo, pois todas as filhas de homens afetados também apresentam a doença.
 e) Codominante autossômico, pois a doença é herdada pelos filhos de ambos os sexos, tanto do pai quanto da mãe.

20. Sistema Dom Bosco

C4-H13

A genealogia a seguir representa uma anomalia na qual somente os indivíduos destacados com a seta são afetados.



Com base nessas informações e em seus conhecimentos, assinale a alternativa que representa o tipo de herança observado.

- a) Herança ligada ao X dominante. d) Herança influenciada pelo sexo.
 b) Herança ligada ao X recessivo. e) Herança ligada ao cromossomo Y.
 c) Herança autossômica dominante.

PLEIOTROPIA E ALELOS LETAIS

40

Muitos cientistas procuram compreender quais genes e mutações são responsáveis pela diversidade morfológica dos grupos de organismos que evoluíram ao longo da história da vida na Terra.

Foram realizadas várias pesquisas com base no desenvolvimento dos organismos e nas teorias evolutivas que abordam os principais modelos de divergência entre as espécies. Por exemplo, analisando o genótipo das moscas-da-fruta (*Drosophila melanogaster*), descobriu-se que o gene denominado PAX-6, responsável pela síntese da rodopsina (pigmento presente na retina desses animais), também atua no desenvolvimento dos neurônios e do corpo pedunculado (estrutura presente em insetos que interpreta as informações olfativas). Constatou-se que o gene PAX-6 é responsável por regular mais de um fenótipo – um associado à visão e o outro à interpretação de informações captadas pelo sistema olfativo. Tal característica genética é considerada **pleiotrópica**.

Existem ainda algumas combinações alélicas consideradas incompatíveis com a vida ou que podem causar danos severos ao organismo portador delas. Embora tenham importante participação nos processos evolutivos e exerçam papel essencial na adaptação e na seleção natural das populações, essas combinações alélicas são letais.

Com o objetivo de identificar a quantidade de alelos letais em humanos, em 2015 cientistas da Universidade de Chicago, Estados Unidos, estimaram a abundância desses alelos em populações isoladas da América do Norte. Com base nos dados obtidos, encontraram no genoma humano diploide uma média de 0,58 alelo letal – número considerado o menor em abundância estimada se comparado à média de alelos letais em outros organismos eucariotos. Além disso, os alelos letais ocorrem principalmente em virtude de mutações, que, em homozigose, causam a morte do indivíduo antes da idade reprodutiva.

PLEIOTROPIA

Em camundongos da espécie *Mus musculus*, a característica "manso" em indivíduos brancos e a característica "agressivo" em cinzentos são determinadas por um gene que expressa mais de um fenótipo simultaneamente. Trata-se, portanto, de um gene **pleiotrópico**.

Em vegetais, a coloração das cebolas e a resistência a fungos acontecem por conta de um alelo recessivo que, em homozigose, é responsável tanto pela coloração roxa quanto pela produção de uma substância fungicida – fato que torna esses indivíduos resistentes e de coloração roxa. Entretanto, o alelo dominante é o responsável pela coloração branca e não produz a substância fungicida – o que torna essa variação de cebola suscetível a fungos.



As cores branca e roxa em cebolas são características pleiotrópicas.

KATERYNA BIBRO/SHUTTERSTOCK

- Pleiotropia
- Alelos letais

HABILIDADES

- Explicar o conceito de pleiotropia e citar exemplos.
- Descrever o conceito de alelos letais e citar exemplos.
- Compreender a importância de eventos pleiotrópicos relacionados a alelos letais.
- Relacionar os conceitos de pleiotropia a doenças e demais características dos fenômenos abordados.

Em humanos, a **fenilcetonúria** é uma doença pleiotrópica recessiva, provocada pela redução da atividade de uma enzima denominada fenilalanina hidroxilase (PAH). Essa proteína atua na transformação da fenilalanina em tirosina – um aminoácido encontrado em proteínas. Se o indivíduo apresentar o gene recessivo, não ocorre a conversão correta desses aminoácidos e a fenilalanina acumula-se no sangue. Isso provoca lesões no sistema nervoso central e resulta em sintomas como deficiência mental, comportamento agitado, padrão autista, convulsões e odor característico na urina. Além disso, como a tirosina participa da produção de melanina, a ausência desse aminoácido faz com que a pele se torne mais clara que o comum. O diagnóstico é feito por meio do teste do pezinho. Bebês com a patologia recebem dieta adequada e não desenvolvem a condição.



SCIENTIFICA/CORBIS NX/GETTY IMAGES

O teste do pezinho, também chamado diagnóstico neonatal, consiste na retirada de pequena quantidade de sangue do pé do bebê.

LEITURA COMPLEMENTAR

Síndrome de Marfan

A síndrome de Marfan, também conhecida como aracnodactilia, é uma doença do tecido conectivo, de herança autossômica dominante, com expressão variável. As principais manifestações clínicas da doença são caracterizadas pela estatura elevada, braços e mãos alongados, deformidade torácica, prolapso de válvula mitral, dilatação da aorta; miopia e luxação do cristalino.

Com o objetivo de compreender a origem de todas essas características, no final dos anos 1980, pesquisadores descobriram que uma proteína denominada **fibrilina**, integrante do tecido de sustentação dos órgãos, era responsável por unir os ossos nas articulações e constituir as lentes dos olhos, bem como a camada interna das artérias. Portanto, uma mutação no gene que produz a fibrilina promove a síndrome de Marfan, dando origem a todas essas características, o que se caracteriza como um fenômeno pleiotrópico.

Disponível em: <http://www.marfan.com.br/sobre_marfan/sindrome/sindromemarfan.asp?area=1>. Acesso em: fev. 2019. (Adaptado)



ZUMA PRESS, INC./ALAMY STOCK PHOTO

A colunista estadunidense Ann Coulter tem síndrome de Marfan.

ALELOS LETAIS

São aqueles capazes de provocar a morte de indivíduos, determinando alterações nas proporções mendelianas esperadas no cruzamento. Dessa forma, em vez de originar indivíduos na proporção 3:1, será encontrada a proporção 2:1, pelo fato de um dos indivíduos morrer.

Os alelos letais podem ser expressos de diversas formas, tanto em homozigose recessiva quanto em alelos letais dominantes, em que apenas a presença de um dos alelos é suficiente para provocar a morte do organismo. Em ambos os casos, os indivíduos não geram descendentes para propagar o gene e, por esse motivo, geralmente desaparecem da população.

Os alelos letais podem ser "semiletais" (quando o organismo ainda consegue sobreviver por muitos anos, para além da idade reprodutiva) ou "completos" (no caso de o organismo ter alelos que não possibilitem alcançar a idade reprodutiva).

ALELOS LETAIS EM CAMUNDONGOS

Em pelagem de camundongos, o alelo para a cor amarela é letal quando se encontra em homozigose. Assim, indivíduos que apresentam o genótipo dominante em dose dupla (AA) morrem. Aqueles com genótipo heterozigoto (Aa) apresentam a pelagem amarela. Indivíduos

com genótipo homocigoto recessivo (aa), por sua vez, apresentam coloração aguti. Trata-se de um alelo letal homocigoto recessivo “completo”, e seu portador morre antes da idade fértil. Mesmo que o alelo A seja dominante, é apenas para determinar a cor da pelagem, pois, quando em dose dupla, esse alelo se comporta como um recessivo letal.



À esquerda, camundongo de pelagem amarela (obrigatoriamente heterocigoto). À direita, camundongo de pelagem aguti (homocigoto recessivo).

ALELOS LETAIS EM GATOS

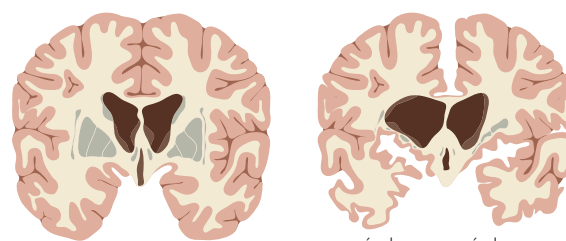
Em gatos com fenótipo Manx, uma única cópia do alelo M^L , recessivo, interfere no desenvolvimento da coluna dorsal do animal. Esse gene determina o fenótipo heterocigoto $M^L M$, o que caracteriza a ausência de cauda. Porém, se o genótipo do indivíduo for $M^L M^L$, a anomalia na coluna será tão severa que o indivíduo não será capaz de sobreviver.



Gata Manx.

ALELOS LETAIS EM HUMANOS

Em humanos, a síndrome de Huntington geralmente aparece tardiamente, por volta dos 40 anos. Essa doença se caracteriza pela perda progressiva da coordenação motora, da fala e da deglutição, em virtude da degeneração dos nervos. Trata-se de uma doença característica dos alelos letais dominantes, de modo que apenas um alelo é suficiente para desenvolver a doença. Após os 40 anos de idade, os indivíduos continuam sendo capazes de se reproduzir. Dessa forma, o alelo pode se propagar na população, já que os filhos dos indivíduos portadores dessa condição têm 50% de chance de herdar o alelo letal, o que caracteriza esse alelo como semiletal.



cérebro normal

cérebro com síndrome de Huntington

À esquerda, corte longitudinal de cérebro humano normal. À direita, corte longitudinal de cérebro humano afetado pela síndrome de Huntington. No cérebro afetado é possível observar a degeneração de diversos sulcos, alargamento do ventrículo (marrom) e atrofia do nervo tecidual basal e do gânglio basal (cinza).

LEITURA COMPLEMENTAR

A acondroplasia, responsável pelo fenótipo de nanismo em humanos e bovinos, é uma condição de herança autossômica dominante que apresenta genes letais quando o alelo dominante se encontra em homocigose (DD), de maneira que o indivíduo com esse genótipo não sobrevive. Em dose única (Dd), o indivíduo apresenta estatura baixa, típica da doença.

Da união entre um indivíduo de estatura normal (genótipo dd) e um indivíduo acondroplásico (Dd), a probabilidade de se gerar um indivíduo com a característica é de 50%. Por outro lado, se houver união entre indivíduos acondroplásicos, a probabilidade de se gerar um indivíduo que não sobrevive (DD) é de 25%. A chance de nascer um indivíduo acondroplásico (Dd) é de 50%. Já a probabilidade de se gerar um indivíduo de estatura normal (dd) é de 25%.

É importante ressaltar que a acondroplasia ocorre em virtude de mutações no gene FGFR3, enquanto a condrodissplasia (vista no Módulo 33) se trata de um fenótipo semelhante, porém originado de mutações em outros genes, as quais podem ser de três tipos: mutações nos genes PEX7, GNPAT, AGPS; mutações no gene ARSE; mutações no gene EPB. Os dois últimos tipos são de herança ligada ao sexo.



Esportistas acondroplásicas.

ROTEIRO DE AULA

PLEIOTROPIA E ALELOS LETAIS

Pleiotropia

Um gene promove duas ou mais característica(s)

Em camundongos, um único gene expressa as seguintes características

brancos e mansos; cinzas e agressivos

Em cebolas, fenótipos gerados por um único gene e resultam nas colorações

roxa resistente a fungos

branca não resistente a fungos

Em humanos, fenilcetonúria (não conversão de fenilalanina em tirosina) pode gerar sintomas como

deficiência mental convulsões odor característico na urina

Alelos letais

São alelos que não possibilitam ao indivíduo sobreviver

Proporção fenotípica 2:1

Exemplos

camundongos amarelos gatos sem cauda acondroplasia

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. Uece (adaptada) – Em relação à herança, assinale com V ou F conforme seja verdadeiro ou falso o que se afirmar a seguir.

- () A perda da cauda em gatos Manx é um fenômeno pleiotrópico.
- () A proporção de heterozigotos originados de um casal heterozigotos, onde o genótipo BB é letal, é de 2/4.
- () Alelos letais causam a morte de seus portadores e são considerados: dominante, quando apenas um está presente; ou recessivo, quando os dois estão presentes.
- () A pleiotropia é o fenômeno em que o gene determina a expressão de mais de uma característica.

Está correta, de cima para baixo, a seguinte sequência:

- a) F - F - V - V c) V - F - V - F
- b) V - V - F - F d) F - V - F - V

A primeira afirmativa está incorreta, porque se refere a um tipo de alelo letal. Nesse caso, o indivíduo é heterozigoto. A segunda afirmativa está incorreta, pois, como indivíduos que apresentam genótipo BB morrem, a proporção de heterozigotos é 2/3.

2. Uece (adaptada) – A fração que representa a heterozigose no cruzamento entre monoíbridos do modelo mendeliano, em que o alelo recessivo em dose dupla é letal, é

- a) 2/3. b) 3/4. c) 2/4. d) 1/4.

No cruzamento entre indivíduos heterozigotos, há 1/4 AA, 1/2 Aa e 1/4 aa. Entretanto, das quatro possibilidades, o genótipo aa é letal, sobrando apenas três possibilidades. Entre elas, duas são para que o indivíduo seja heterozigoto, ou seja, 2/3.

3. Sistema Dom Bosco – Certo evento genético faz com que um gene determine mais de uma característica simultaneamente. Por exemplo, na relação entre a cor da pelagem de ratos e o grau de agressividade. Em geral, ratos brancos são mansos, enquanto ratos escuros são mais agressivos. Como se chama esse fenômeno?

O fenômeno é a pleiotropia.

4. Uece – Assinale a opção que corresponde à correta descrição de um caso de pleiotropia.

- a) A síndrome de Marfan é causada por uma mutação em somente um gene, no entanto afeta muitos aspectos do crescimento e desenvolvimento, como altura, visão e funcionamento cardíaco.

b) A acondroplasia é uma forma de nanismo humano, condicionada por um alelo dominante D, e nunca foram encontrados indivíduos homozigotos dominantes (DD).

c) Em um cruzamento entre dois camundongos amarelos heterozigotos observou-se uma prole de camundongos amarelos e marrons em uma taxa de 2:1 e não de 3:1.

d) O gene que determina a cor da pelagem de coelhos apresenta quatro formas alélicas: C, cch, ch e c.

A alternativa B está incorreta, porque se trata de alelos letais, em que o alelo D em homozigose não possibilita ao indivíduo sobreviver. A alternativa C está incorreta, pois se refere novamente a alelos letais. A alternativa D está incorreta, porque se trata de polialelia.

5. UFPE (adaptada) – Existe um gene na espécie humana que determina que o indivíduo apresente simultaneamente fragilidade óssea, surdez congênita e esclerótica azulada. Marque a alternativa que define o caso.

- a) Herança autossômica dominante
- b) Herança autossômica recessiva
- c) Pleiotropia
- d) Herança ligada ao sexo
- e) Polialelia

Um evento pleiotrópico caracteriza-se quando há um gene que exerce sua ação em mais de duas características.

6. Sistema Dom Bosco

C4-H13

Considere uma doença congênita em que indivíduos que apresentam o genótipo homozigoto dominante não sobrevivem. Um casal deseja ter filhos, sendo ambos normais. A mulher é heterozigota, e o homem, homozigoto recessivo. Qual é a probabilidade de esse casal gerar filhos com o genótipo letal da doença?

Sendo a mulher heterozigota (Aa) e o homem homozigoto recessivo (aa), o cruzamento desses indivíduos gera genótipos: 1/2 Aa e 1/2 aa.

Como o genótipo letal é homozigoto dominante (AA), não há chance de esse casal gerar filhos com tal genótipo.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Reconhecer mecanismos de transmissão da vida, prevendo ou explicando a manifestação de características dos seres vivos.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. Uerj (adaptada) – Em determinado tipo de camundongo, a pelagem branca é condicionada pela presença do gene "A", letal em homozigose. Seu alelo recessivo "a" condiciona pelagem preta. Marque a alternativa que apresente a proporção de camundongos de pelagem branca e preta, respectivamente, originados de um casal heterozigoto:

- a) 1/2 e 1/2
- b) 1/4 e 3/4
- c) 2/3 e 1/3
- d) 3/4 e 1/4

8. UFRGS-RS (adaptada) – As reações bioquímicas, em sua maioria, são interligadas e frequentemente interdependentes, de maneira que os produtos de uma cadeia de reações podem ser utilizados em muitas outras vias metabólicas. Portanto, não é surpreendente que a expressão fenotípica de um gene envolva mais do que uma característica.

A afirmação acima refere-se ao conceito de

- a) dominância incompleta. c) pleiotropia.
- b) heterogeneidade genética. d) alelismo múltiplo.
- e) fenocópia.

9. Uece – Os genes letais foram identificados, em 1905, pelo geneticista francês Lucien Cuénot. A acondroplasia é uma forma de nanismo humano condicionada por um alelo dominante D que prejudica o desenvolvimento ósseo. Pessoas que apresentam a acondroplasia são heterozigotas e pessoas normais são homozigotas recessivas. Assinale a opção que corresponde ao genótipo em que o gene é considerado letal.

- a) Dd c) D_
b) dd d) DD

10. Sistema Dom Bosco – Pesquisadores descobriram que cebolas roxas produzem uma substância fungicida, tornando-as resistentes a fungos, enquanto cebolas brancas não são capazes de produzi-la, sendo suscetíveis a fungos. Elabore uma hipótese com base em seus conhecimentos sobre genética que explique o fato de essas duas características se manifestarem sempre juntas.

11. PUC-Camp-SP (adaptada) – Existe uma anomalia em aves que se caracteriza pelo encurtamento das asas. Quando aves anômalas heterozigóticas são cruzadas, são originados indivíduos anômalos e normais numa proporção de 2:1, respectivamente. A partir desses dados, é possível deduzir que se trata de uma herança

- a) de alelos letais em homozigose.
b) de alelos letais recessivos.
c) pleiotrópica.
d) dominante autossômica.
e) recessiva autossômica.

12. Sistema Dom Bosco – A pleiotropia é um fenômeno genético no qual um único gene é responsável por determinar duas ou mais características simultaneamente. Marque a alternativa que apresenta um exemplo pleiotrópico:

- a) A flor maravilha rosa apresenta essa característica por ter o genótipo heterozigoto, em que há ausência de dominância entre os alelos.
b) Gatos Manx apresentam a ausência da cauda por apresentarem os alelos M^L e M em conjunto e em um mesmo *locus*.
c) Nas ervilhas, um mesmo par de genes determina a manifestação de flores brancas e de envoltório branco nas sementes.
d) A acondroplasia é uma anomalia expressa apenas por indivíduos heterozigotos.

13. Mackenzie-SP (adaptada) – Em algumas espécies de roedores, o padrão da pelagem de alguns roedores é condicionado por um par de genes autossômicos, originando pelagem malhada ou pelagem uniforme. Se dois indivíduos malhados forem cruzados, a prole obtida será composta por indivíduos de pelagem malhada e uniforme, na proporção de 2:1. Considere as afirmativas a seguir.

- I. O gene que determina pelagem malhada é dominante.
II. Um dos dois alelos é letal em homozigose.
III. Se dois indivíduos com pelagem uniforme forem cruzados, ao menos um indivíduo nascerá com pelagem malhada.

- a) Todas as afirmativas estão corretas.
b) Somente a afirmativa I está correta.
c) Somente as afirmativas I e II estão corretas.
d) Somente a afirmativa III está correta.
e) Somente as afirmativas I e III estão corretas.

14. PUC-SP (adaptada) – Existe uma doença humana com padrão de herança autossômico na qual o genótipo AA determina indivíduos normais, o genótipo AA1 determina uma forma branda da doença e o genótipo A1A1 determina uma forma grave da doença, de forma que o indivíduo morre durante a embriogênese. Um casal heterozigoto decidiu se casar e tem medo de não conseguir conceber um filho por conta da forma grave da doença. Com base nessas informações e em seu conhecimento, responda:

- a) Ambos os pais são portadores do gene responsável pela forma grave da doença?

- b) Qual a probabilidade de eles terem filhos que não sobreviverão?

15. Sistema Dom Bosco – A fenilcetonúria (PKU) é uma doença metabólica rara, com prevalência global média estimada de 1 para 10 000 recém-nascidos. A incidência varia entre as diferentes nações do mundo e os diferentes grupos étnicos. As maiores taxas são encontradas na Irlanda (1 : 4 500) e na Turquia (1 : 2 600), e as menores, na Finlândia, no Japão e na Tailândia (1 : 200 000, 1 : 143 000 e 1 : 212 000, respectivamente). No Brasil, tem sido encontrada uma prevalência variando de 1 : 15 000 a 1 : 25 000. É importante que a família fique atenta e verifique a presença e a quantidade de fenilalanina no rótulo de medicamentos e alimentos industrializados, uma vez que a mutação promove acúmulo dessa substância no corpo.

Disponível em: <http://portals.saude.gov.br/acoes-e-programas/programa-nacional-da-triagem-neonatal/fenilcetonuria-pku>.

Acesso em: jan. 2019. (Adaptado)

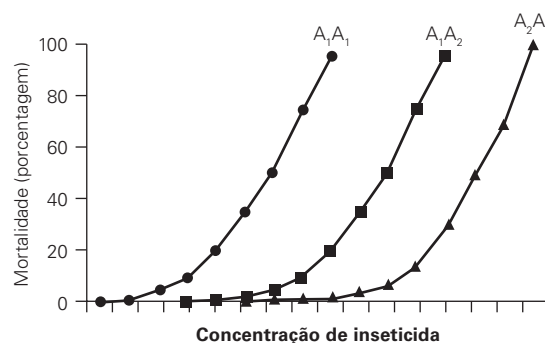
Com base nessas informações e em seus conhecimentos, marque a alternativa correta:

- a) Trata-se de uma doença relacionada ao sexo.
b) Trata-se de uma doença pleiotrópica.
c) Trata-se de uma doença autossômica dominante.
d) Trata-se de uma doença codominante.

16. UFG-GO – No homem, a acondroplasia é uma anomalia genética, autossômica dominante, caracterizada por um tipo de nanismo em que a cabeça e o tronco são normais, mas os braços e as pernas são curtos. A letalidade dessa anomalia é causada por um gene dominante em dose dupla. Dessa forma, na descendência de um casal acondroplásico, a proporção fenotípica esperada em F1 é

- 100% anões.
- 100% normais.
- 33,3% anões e 66,7% normais.
- 46,7% anões e 53,3% normais.
- 66,7% anões e 33,3% normais.

17. Unicamp-SP (adaptada) – O gráfico a seguir representa a relação entre a mortalidade de mosquitos que foram expostos a concentrações diferentes de inseticida. A resistência ou susceptibilidade ao inseticida é conferido por um gene A que possui dois alelos: A_1 e A_2 .



Os indivíduos que apresentam cada um dos genótipos não se comportam da mesma forma quanto à resistência ao inseticida, o que faz com que os pontos estejam distribuídos ao longo da curva. Como você explica essas diferenças de um ponto de vista genético? Justifique.

ESTUDO PARA O ENEM

18. Sistema Dom Bosco

C4-H13

Os gatos da raça Manx tem como característica principal a ausência de cauda. Essa característica é produzida por um gene letal, que interfere no desenvolvimento da coluna. Quando o alelo se encontra em dose dupla, o desenvolvimento da coluna é gravemente afetado a ponto de o indivíduo não sobreviver, promovendo aborto espontâneo.

Considere um casal de gatos Manx cuja fêmea teve oito filhotes. Qual é o número esperado de filhotes fêmeas e sem cauda?

- 1
- 2
- 4
- 6
- 8

19. Sistema Dom Bosco

C4-H13

Com preguiça de fazer o dever de casa, a americana Liz-zie Velasquez resolveu assistir a clipes de músicas *online*. Encontrou um vídeo que se chamava "A mulher mais feia do mundo" e clicou. Não esperava que o vídeo fosse sobre ela. Essa história aconteceu quando ela tinha 17 anos. O vídeo, de oito segundos, já havia sido assistido 4 milhões de vezes. Agora, nove anos depois, Velasquez é uma ativista *anti-bullying* e protagoniza um documentário que estreou nos Estados Unidos no sábado. Velasquez já estava acostumada a sofrer *bullying* diariamente devido a sua aparência. Nascida com duas condições raras - síndrome de Marfan e lipodistrofia - ela é incapaz de ganhar peso, não importa o quanto coma. Ela lembra que, quando en-

trou no jardim de infância, as crianças costumavam a se afastar dela, com medo.

HAWKINS, Kathleen. Filme mostra como mulher chamada de 'mais feia do mundo' superou *bullying*. BBC Brasil. 18 mar. 2015. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/noticias/2015/03/150318_mulher_mais_feia_lab>. Acesso em: jan. 2019.

Sobre a síndrome de Marfan:

- É uma doença incapaz de ser passada às próximas gerações.
- É uma doença em que há diversos genes atuando.
- O indivíduo portador não consegue ganhar peso, independentemente do quanto se alimente.
- É uma doença genética recessiva ligada ao sexo.
- É uma doença congênita pleiotrópica, porque um único gene desenvolve diversas características.

20. Sistema Dom Bosco

C4-H13

O filho de um casal é diagnosticado com anemia falciforme, uma doença de herança codominante determinada pelo genótipo Hb^sHb . O indivíduo com essa condição tem metade de suas hemácias em formato de foice, o que prejudica o transporte de oxigênio no sangue. A forma grave da doença ocorre em indivíduos com genótipo Hb^sHb^s , levando à morte precoce. A mãe desse menino é normal, com genótipo $HbHb$. O pai, por sua vez, apresenta anemia falciforme. Com base nessas informações, qual é a probabilidade de esse casal originar um indivíduo com a forma grave da doença numa próxima gestação?

- | | | |
|--------|--------|---------|
| a) 0% | c) 50% | e) 100% |
| b) 25% | d) 75% | |

41

INTERAÇÕES GÊNICAS

- Interação gênica
- Interação gênica não epistática

HABILIDADES

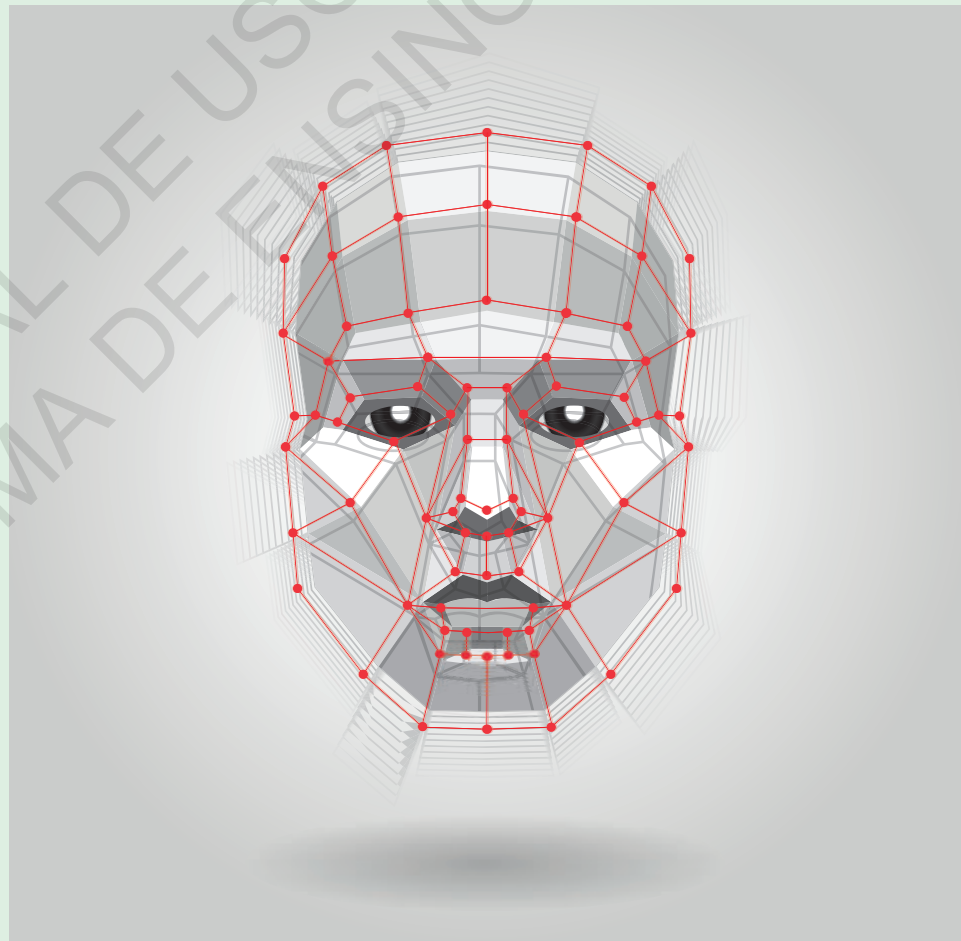
- Explicar como ocorrem as principais formas de interações gênicas.
- Citar exemplos de interações gênicas.
- Descrever as principais características de cada tipo de interação gênica.
- Compreender a importância dos genes na produção de determinados fenótipos.
- Calcular a probabilidade de determinado fenótipo ser expresso.

Em 2013, pesquisadores do Lawrence Berkeley National Laboratory (Califórnia, Estados Unidos) investigaram diferenças faciais humanas utilizando como modelo testes genéticos em camundongos.

Os resultados inicialmente encontrados indicam que há um modelo que define o rosto; além disso, foram observadas mais de 4 000 sequências de DNA no genoma dos camundongos que possivelmente atuam no desenvolvimento facial. Essas sequências estão em áreas que não codificam nenhuma proteína, mas que, segundo os pesquisadores, agem como interruptores, ligando e desligando outros genes.

Acredita-se que seja por meio dessa interação entre os genes que nosso rosto é formado, uma vez que, ao extrair três dessas sequências do genoma de ratos, pôde-se identificar alterações bastante sutis na face. Os pesquisadores acreditam, também, que esses mesmos genes podem atuar no desenvolvimento do crânio, alterando seu formato.

Com base nesses estudos, espera-se compreender melhor como ocorrem determinadas malformações de origem genética em humanos.



MSPPOINT/STOCKPHOTO.COM

Estudos com sequências genéticas indicam que o rosto humano se forma com base em um modelo.

INTERAÇÃO GÊNICA

As **interações gênicas** são aquelas em que há interação entre dois ou mais genes, localizados em cromossomos não homólogos, produzindo determinada característica. Existem três tipos principais de interação gênica: epistasia, interação entre genes complementares e herança quantitativa.

EPISTASIA

A **epistasia** é um tipo de herança em que um alelo de um gene impede o alelo de outro gene, localizado em outra região ou outro cromossomo, de ser expresso. O alelo inibidor é denominado **epistático**, enquanto o alelo inibido é denominado **hipostático**.

EPISTASIA DOMINANTE

Na **epistasia dominante**, o alelo tem efeito inibidor e pode estar tanto em dose dupla (genótipo homocigoto dominante) como em dose simples (genótipo heterocigoto). Quando ocorre esse tipo de herança, a proporção não é a mendeliana de 9:3:3:1, mas é alterada para **13:3** ou para **12:3:1**.

A determinação do padrão de penas de galinhas da raça *leghorn* é um exemplo de epistasia dominante. Nesse caso, existe um gene em determinado cromossomo cujo alelo **C** é associado à plumagem colorida e o **c** à plumagem branca. Em outro par de cromossomos, existe um gene em que o alelo **I** é responsável pela inibição do gene **C**, enquanto seu alelo recessivo **i** permite a expressão do gene **C**. Portanto, o alelo **I** é epistático, e o alelo **C** é hipostático. Quando há um genótipo **CCII**, por exemplo, a ave apresenta plumagem branca, como se o alelo **c** estivesse atuante, pois, mesmo tendo o alelo **C**, o alelo **I** não permite que o fenótipo **C** seja expresso.



Galinha *leghorn* de plumagem branca, resultado da epistasia do alelo dominante.

Considere o cruzamento entre os alelos abaixo e os possíveis genótipos:

Gametas	CI	Ci	cl	ci
CI	CCII	CCli	CcII	Ccli
Ci	CCli	CCii	Ccli	Ccii
cl	CcII	Ccli	ccII	ccli
ci	Ccli	Ccii	ccli	ccii

Com isso, temos:

9 aves brancas (genótipo C_I_);

3 aves coloridas (genótipo C_ii);

3 aves brancas (genótipo ccl_);

1 ave branca (genótipo ccii).

Total: 13 aves brancas : 3 aves coloridas.

EPISTASIA RECESSIVA

A **epistasia recessiva** é aquela em que o alelo epistático precisa estar em dose dupla para inibir o efeito de outro gene localizado em outro *locus*. Em geral, esse tipo de herança apresenta a **proporção 9:4:3**.

Um exemplo é a determinação do padrão da pelagem em ratos. O alelo **A** determina a pelagem aguti (selvagem), podendo ser amarela ou castanha; o alelo **a** determina a pelagem preta. Outro par de alelos em outro *locus*, no qual o alelo **i** é epistático sobre **A** e **a** e impede a produção de indivíduos pigmentados, determina indivíduos albinos (pelagem branca e olhos vermelhos). Seu alelo dominante **I** permite que a pigmentação seja produzida.

Ao serem cruzados indivíduos duplo heterocigotos amarelos, obtém-se:

Geração parental



Aali

Aali

Geração F1



9 aguti (A_I_)

4 albinos (A_ii)

3 pretos (aaI_)

Desse cruzamento, os genótipos possíveis são:

Gametas	AI	Ai	al	ai
AI	AAII	AAIi	AaII	AaIi
Ai	AAIi	AAii	AaIi	AaII
al	AaII	AaIi	aaII	aaIi
ai	AaIi	AaII	AaIi	aaII

INTERAÇÃO GÊNICA NÃO EPISTÁTICA

Trata-se da interação que ocorre entre dois ou mais alelos para formar o fenótipo dos indivíduos, sem que nenhum alelo de um *locus* impeça a expressão dos alelos dos outros *loci*. Ao contrário da interação epigênica, nesta os genes afetam um ao outro, interagindo para originar uma característica fenotípica diferente. A proporção fenotípica desse tipo de interação é igual àquela encontrada na segunda lei de Mendel (9:3:3:1). Entretanto, neste caso é originada apenas uma característica para cada genótipo, enquanto na segunda lei de Mendel surgem duas características para cada genótipo.

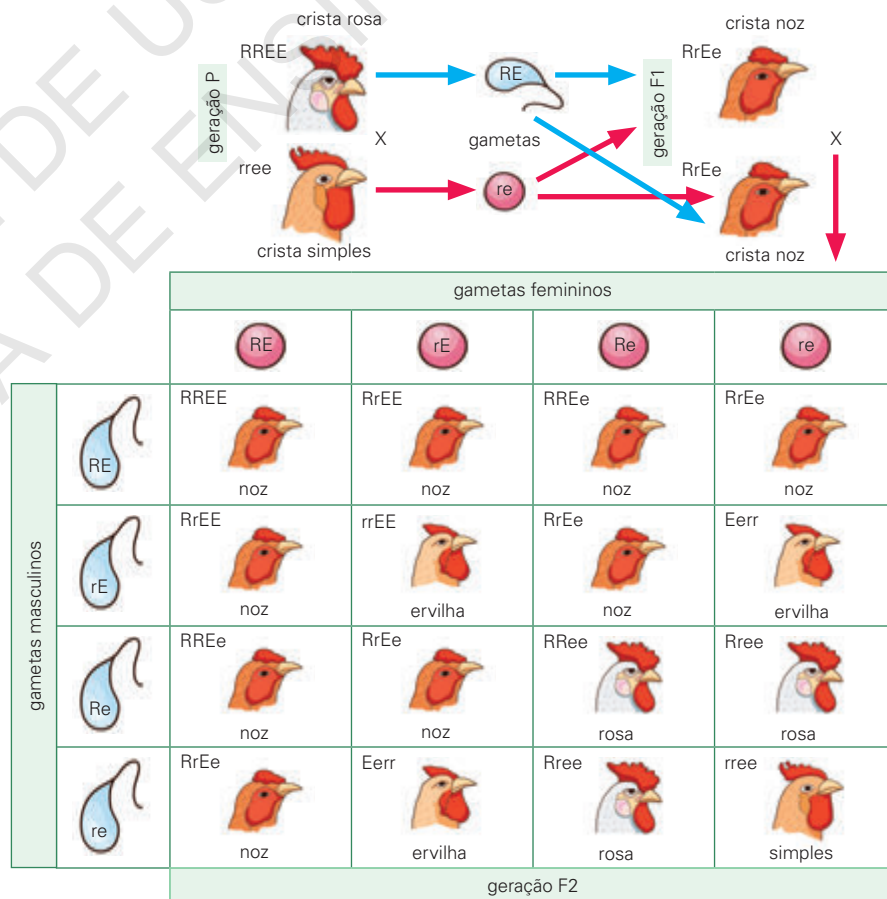
GENES COMPLEMENTARES

Um exemplo comum são os genes que determinam o tipo de crista das galinhas. O alelo dominante **R**, quando isolado, determina o aparecimento de crista rosa; o alelo **E**, presente em outro *locus*, determina o aparecimento de crista ervilha. Nas aves com esses dois alelos dominantes (**R** e **E**), a crista é noz e, em aves com alelos recessivos (**rree**) para ambos os *loci*, a crista é simples.



Fenótipos das cristas de galos e seus respectivos genótipos. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Do cruzamento de uma ave que apresenta crista rosa duplo homocigota (genótipo RREE) com uma ave que apresenta crista simples (genótipo rree), toda a geração F1 apresentará crista noz. Do cruzamento de indivíduos da geração F1 entre si, a geração F2 apresentará a seguinte proporção fenotípica: 9 indivíduos do tipo noz (R_E_), 3 do tipo rosa (R_ee), 3 do tipo ervilha (rrE_) e 1 do tipo simples (rree), conforme mostrado no esquema a seguir:

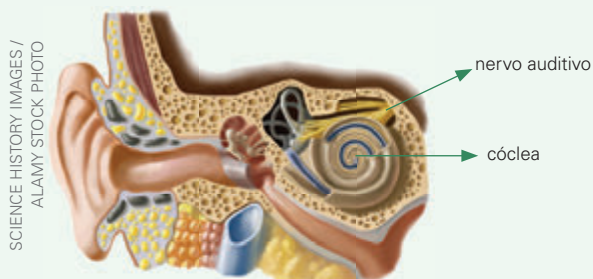


Esquema de cruzamentos de possíveis fenótipos de cristas de galo. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

LEITURA COMPLEMENTAR

Surdez humana congênita

A surdez congênita humana apresenta um padrão de interação gênica não epistática, em que existem dois genes complementares: gene **D** e gene **E**. O gene **D** determina a formação normal da cóclea da orelha interna, enquanto o gene **E** determina a formação do nervo auditivo. Os alelos recessivos de cada um deles não permitem que tais estruturas sejam desenvolvidas e a homozigose recessiva para qualquer um deles faz com que um indivíduo seja surdo. Pessoas com o genótipo **dd** são surdas por não apresentarem a cóclea, e pessoas com o genótipo **ee** são surdas por não terem desenvolvido o nervo auditivo.



Representação do ouvido humano com destaque para a localização da cóclea e do nervo auditivo. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Portanto, ao considerarmos o casamento entre indivíduos duplo homocigotos para ambos os genótipos, teremos, na geração F₁, 100% dos indivíduos ouvintes. Caso duas pessoas duplo heterocigotas se casem, as possibilidades genotípicas e fenotípicas serão as seguintes:

Geração P: EEDD (normal) x eedd (surdo)

Geração F₁: 100% EeDd (normal)

Geração F₂:

9 E ₋ D ₋ (normais)
3 E ₋ dd (surdos)
3 eeD ₋ (surdos)
1 eedd (surdo)

Portanto, a proporção genotípica será 9:3:3:1, respeitando a segunda lei de Mendel, mas a proporção fenotípica será alterada para 9:4, uma vez que haverá três tipos de surdo: surdos por não terem a cóclea formada, surdos por não terem o nervo auditivo formado, e surdos por não desenvolverem nenhuma dessas estruturas simultaneamente.

HERANÇA QUANTITATIVA

Esse tipo de herança ocorre quando o fenótipo é condicionado por dois ou mais alelos, ou seqüências gênicas, em que há um **alelo aditivo** (representado pela letra maiúscula) e um **alelo indiferente** ou **não aditivo** (representado pela letra minúscula). Cada um dos alelos aditivos participa da formação do fenótipo, determinando a intensidade da expressão do fenótipo, independentemente do par em que ele se encontre; já os alelos não aditivos não são expressos no fenótipo. Esse tipo de herança também pode ser chamado de **poligênico**, **multifatorial** ou **polimeria**. Em geral, a herança quantitativa tem como característica fenotípica que **apresentam variação contínua ou gradual**, como a pigmentação da pele humana.



O Brasil é um país com grande miscigenação, um mosaico de fenótipos que, combinados, resultaram na nossa diversidade populacional.

A pigmentação da pele é determinada por dois ou mais alelos localizados em cromossomos diferentes, que serão representados aqui como os genes **B** e **N**. Quando há quatro alelos envolvidos na produção do pigmento (melanina), a cor da pele é negra. Quando há três alelos, o fenótipo é considerado pardo escuro, ou moreno; quando há dois alelos, o fenótipo é pardo médio; quando há apenas um alelo, o fenótipo é pardo claro; quando não há alelos de produção de melanina, o fenótipo é denominado branco.

Genótipos	Fenótipos	Proporção
NNBB	negro	1:16
NNBb, NnBB	pardo escuro	4:16
NnBb, NNbb, nnBB	pardo médio	6:16
Nnbb, nnBb	pardo claro	4:16

Os fenótipos de herança quantitativa apresentam **distribuição em curva normal** ou **curva de Gauss**, isto é, os fenótipos extremos têm menor frequência; e os fenótipos intermediários, maior frequência.

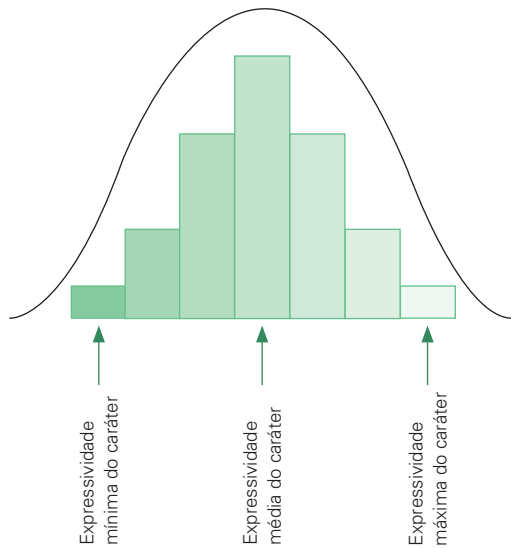


Gráfico da curva de Gauss de distribuição fenotípica de um caráter com distribuição normal.

A altura das plantas é outro exemplo quantitativo, uma vez que é determinada por mais de um par de alelos. Há plantas com altura máxima, outras com altura mínima e uma grande quantidade com alturas intermediárias. O mesmo acontece com a estatura do ser humano, com uma grande quantidade de fenótipos intermediários diferentes.

CÁLCULO DO NÚMERO DE FENÓTIPOS E FREQUÊNCIA DOS FENÓTIPOS EXTREMOS

Na herança quantitativa, o número de fenótipos encontrados depende do número de pares de alelos envolvidos, denominados como **n**. Portanto, o número de fenótipos será duas vezes o número de alelos envolvidos + 1.

$$n^{\circ} \text{ fenótipos} = 2n + 1$$

Sendo assim, se uma característica é determinada por 4 pares de alelos, então o número de fenótipos distintos encontrados será 9. Ou, ainda, se há 6 pares de alelos envolvidos, o número de fenótipos distintos será igual a 13.

Para calcular a frequência dos fenótipos extremos, basta lembrar que os alelos para cada gene precisam estar em homozigose dominante. Se cada gene tem a probabilidade de 1/4 de apresentar um genótipo, basta elevar esse valor ao número de pares de alelos presentes para uma dada característica.

$$\text{Frequência dos fenótipos extremos} = (1/4)^n$$

Portanto, para uma característica que apresenta 5 genes ser expressa, a probabilidade de ocorrer um fenótipo extremo será $(1/4)^5 = 0,000976$.

ROTEIRO DE AULA

INTERAÇÕES GÊNICAS

INTERAÇÕES EPISTÁTICAS

Um alelo _____ **inibe** _____ a expressão de um outro alelo

Gene epistático: _____ gene que impede a expressão de outro gene

Gene hipostático: _____ gene que é impedido de se expressar

Proporções de epistasia dominante: _____ **13:3 e 12:3:1** _____

Proporção de epistasia recessiva: _____ **9:4:3** _____

INTERAÇÕES NÃO EPISTÁTICAS

Genes complementares

Proporção: _____ **9:3:3:1** _____

Apresenta _____ **uma** _____ característica por genótipo

Herança quantitativa

Alelo aditivo: _____ determina a intensidade de expressão fenotípica

Alelo não aditivo: _____ indiferente à expressividade do fenótipo

O fenótipo apresenta variação _____ **gradual** _____

A distribuição fenotípica do gráfico de Gauss tem padrão _____ **normal** _____

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. UEPG-PR (adaptada) – A pleiotropia é um fenômeno em que um gene determina duas ou mais características simultaneamente. Marque a alternativa que indique o fenômeno inverso, isto é, em que vários genes determinem em conjunto uma característica:

- a) Interação gênica.
 b) Epistasia.
 c) Criptomeria.
 d) Polialelia.
 e) Alelos múltiplos.

A interação gênica ocorre quando dois ou mais genes agem em conjunto para produzir uma característica.

2. Mackenzie-SP (adaptada) – A cor da plumagem nas galinhas é determinada por 2 pares de genes: o gene C condiciona plumagem colorida enquanto seu alelo c determina plumagem branca. O gene I impede a expressão do gene C, enquanto seu alelo i não interfere nessa expressão. Com esses dados, conclui-se que se trata de um caso de

- a) epistasia recessiva. d) codominância.
 b) herança quantitativa. e) epistasia dominante.
 c) pleiotropia.

Trata-se de epistasia dominante, pelo fato de o gene I inibir a expressão do gene C.

3. UFG-GO (adaptada) – Em uma dada espécie de abóbora, a interação entre dois pares de genes condiciona a variação fenotípica dos frutos. Frutos na forma discoide são resultantes da presença de dois genes dominantes. A forma esférica deve-se à presença de apenas um dos dois genes dominantes. Já a forma alongada é determinada pela interação dos dois genes recessivos. De acordo com as informações, o cruzamento entre uma abóbora esférica duplo homocigota com uma abóbora alongada resulta em qual proporção fenotípica?

Discóide = E₋D₋; Esférica = E₋dd ou eeD₋; Alongada = ddee.

Esférica × alongada = EEdd × eedd = 100% Eedd. Ou seja, 100% da prole será esférica.

4. UFRR – Considerando o cruzamento entre dois cães labradores, sabendo que a pelagem é um exemplo de epistasia recessiva e que somente dois genes condicionam as três pelagens típicas dessa raça: preta, chocolate e dourada, é correto afirmar que o cruzamento de cães pretos duplo heterocigotos (BbEe) produz descendentes na proporção

- a) 9 pretos: 3 chocolate: 1 dourado.
 b) 9 pretos: 3 chocolate: 4 dourados.
 c) 3 pretos: 1 dourado.
 d) cães pretos, chocolate e dourados nas mesmas proporções.
 e) somente cães pretos.

No caso de epistasia recessiva, o alelo e precisa estar em dose dupla para que os alelos B e b sejam inibidos, de modo que a proporção da prole geralmente é 9:4:3. Dessa forma, do cruzamento de cães pretos duplo heterocigotos, temos: BbEe × BbEe = 9 B₋E₋ (pretos), 4 B₋ee ou bbee (dourados) e 3 bbE₋ (chocolates).

5. Ufal (adaptada) – Em galináceos, foram observados quatro tipos de crista: rosa, ervilha, simples e noz. Quando aves homocigóticas de crista rosa foram cruzadas com aves de crista simples, foram obtidas 75% de aves com crista rosa e apenas 25% com crista simples em F₂. Do cruzamento de aves homocigóticas de crista ervilha com aves de crista simples foram obtidas 75% de aves com crista ervilha e apenas 25% com crista simples, também em F₂. Quando aves homocigóticas de crista rosa foram cruzadas com aves homocigóticas de crista ervilha, todos os descendentes F₁ apresentaram um novo tipo de crista, o tipo noz. Na F₂, produzida a partir do cruzamento de indivíduos F₁, foi observado que, para cada 16 descendentes, nove apresentavam crista noz, três, crista rosa, três, crista ervilha e apenas um apresentava crista simples. Marque a alternativa que apresente o tipo de herança no formato da crista das aves:

- a) pleiotropia, em que quatro alelos de um locus estão envolvidos.
 b) interação gênica entre alelos de dois loci distintos.
 c) epistasia dominante e recessiva.
 d) herança quantitativa.
 e) alelos múltiplos.

Trata-se de interação entre dois genes que se encontram em loci diferentes: o alelo dominante R, quando isolado, determina o aparecimento de crista rosa; o alelo E, presente em outro locus, determina o aparecimento de crista ervilha. Nas aves com esses dois alelos dominantes, a crista é noz e em aves com alelos recessivos, para ambos os loci, a crista é simples.

6. UPF-RS (adaptada)

C4-H13

A herança quantitativa ou poligênica estuda caracteres genéticos de variação contínua, como a estatura na espécie humana, a cor da pele, a inteligência, a produtividade de leite no gado e a de sementes ou frutos. Admitindo que a cor da pele humana seja um desses casos e que seja determinada por dois pares de genes (alelo N e alelo B), determine a probabilidade esperada do nascimento de crianças brancas (genótipo nnbb) do cruzamento de dois pardos claros, heterocigotos para o gene N (genótipo Nnbb).

Pardos claros são indivíduos que apresentam apenas um alelo dominan-

te. Portanto, o cruzamento é: Nnbb × Nnbb. Separando os genes, tere-

mos, para o gene N: 1/4 NN, 1/2 Nn e 1/4 nn. Para o gene B, teremos:

100% bb. Para o indivíduo ser branco, é necessário ter o genótipo nnbb.

Dessa forma, a probabilidade será $1/4 \times 1 = 1/4$.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente,

em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conheci-

mentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Reconhecer mecanismos de transmissão da vida, prevendo

ou explicando a manifestação de características dos seres vivos.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. UFU-MG – A cor da pelagem em cavalos depende, dentre outros fatores, da ação de dois pares de genes Bb e Ww. O gene B determina pelos pretos e o seu alelo b determina pelos marrons. O gene dominante W “inibe” a manifestação da cor, fazendo com que o pelo fique branco, enquanto o alelo recessivo w permite a manifestação da cor. Cruzando-se indivíduos heterozigotos para os dois pares de genes obtêm-se

- a) 3 brancos : 1 preto.
- b) 9 brancos : 3 pretos : 3 mesclados de marrom e preto : 1 branco.
- c) 1 preto : 2 brancos : 1 marrom.
- d) 12 brancos : 3 pretos : 1 marrom.
- e) 3 pretos : 1 marrom.

8. UFRGS-RS (adaptada) – As flores de uma determinada planta podem ser brancas, vermelhas ou creme. O alelo A determina a deposição do pigmento e o alelo recessivo (aa) leva à ausência de deposição de pigmento, resultando na cor branca. O alelo dominante B produz pigmento vermelho, enquanto seu recessivo, a cor creme. Cruzando-se plantas heterozigotas para os dois genes entre si, a probabilidade de obtermos uma planta creme é de

- a) 3/16.
- b) 4/16.
- c) 7/16.
- d) 9/16.
- e) 12/16.

9. Unesp – Na cobra do milharal, os alelos A/a e B/b regulam a coloração da pele. O pigmento preto é determinado pelo alelo dominante A, enquanto o alelo recessivo a não produz esse pigmento. O pigmento laranja é determinado pelo alelo dominante B, enquanto o alelo b não produz esse pigmento. A cobra selvagem produz os pigmentos pretos e laranja. Cobras pretas produzem apenas pigmento preto. Cobras laranja produzem apenas pigmento laranja. Existem ainda cobras albinas, que não produzem os dois pigmentos.

Assinale a alternativa na qual os genótipos representam, respectivamente, uma cobra selvagem e uma cobra albina.

- a) AaBb e aabb
- b) aaBb e aabb
- c) AaBb e AAbb
- d) aaBB e Aabb
- e) Aabb e aaBb

10. Fuvest-SP (adaptada) – Nos cães labradores, a cor da pelagem preta, chocolate ou dourada depende da interação entre dois genes, um localizado no cromossomo 11 (alelos B e b) e o outro, no cromossomo 5 (alelos E e e). O alelo dominante B é responsável pela síntese do pigmento preto e o alelo recessivo b, pela produção do pigmento chocolate. O alelo dominante E determina a deposição do pigmento preto ou chocolate nos pelos, e o alelo e impede a deposição de pigmento no pelo. Dentre 36 cães resultantes de cruzamentos de cães heterozigóticos nos dois loci com cães duplo homozigóticos recessivos, quantos com pelagem preta, chocolate e dourada, respectivamente, são esperados?

11. UFTM-MG – Em certa variedade de plantas, a altura mínima das flores é de 20 cm a partir do solo e a altura máxima é de 32 cm. Sabendo que se trata de um caso de herança quantitativa e que cada alelo efetivo contribui com 2 cm, pode-se afirmar corretamente que uma planta cuja altura de suas flores seja 28 cm, pode apresentar o genótipo

- a) AABBCc.
- b) AaBBcc.
- c) AabbCc.
- d) AaBbCc.
- e) AABbCc.

12. UEM-PR – Considere o cruzamento de parentais duplo heterozigotos para os genes A e B localizados em cromossomos diferentes e some o valor das alternativas corretas.

- 01) Se a proporção fenotípica em F1 for de 9:3:3:1 para uma única característica, temos um caso de interação gênica.
- 02) Se a proporção fenotípica em F1 for de 9:3:3:1 para duas características, temos um caso de segregação independente.
- 04) Se a proporção fenotípica em F1 for de 9:4:3 para uma única característica, temos um caso de epistasia recessiva.
- 08) Se a proporção fenotípica em F1 for de 1:4:6:4:1 para uma única característica, temos um caso de herança poligênica.
- 16) Se a proporção fenotípica em F1 for de 13:3 para uma única característica, temos um caso de pleiotropia.

13. Unifor-CE – Na moranga, a cor dos frutos deve-se às seguintes combinações de genes:

B_aa = amarelo

B_A_ = branco

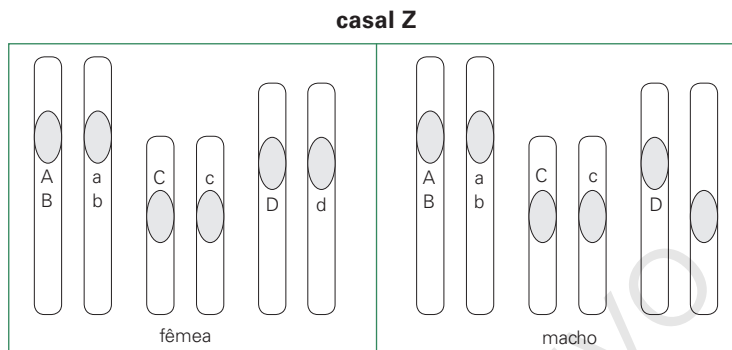
bbA_ = branco

bbaa = verde

Estas informações permitem concluir que o gene

- a) A é epistático sobre seu alelo.
- b) B é epistático sobre A e sobre a.
- c) a é hipostático em relação a A.
- d) b é hipostático em relação a B.
- e) A é epistático sobre B e sobre b.

14. UnB (adaptada) – Na figura a seguir estão representados pares de cromossomos homólogos de uma fêmea e de um macho de uma espécie animal imaginária, que formam o casal Z, e, na tabela, estão indicados os significados dos símbolos usados na figura.

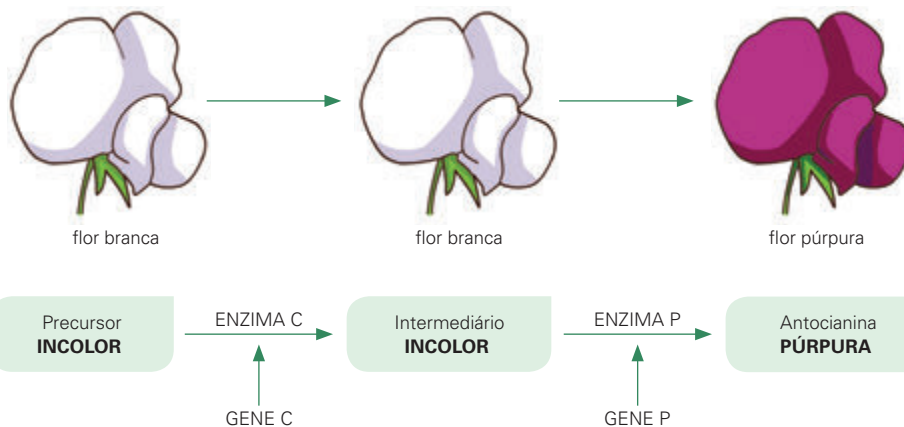


Significado dos símbolos usados na figura

A	gene para número de patas	AA e Aa AA e Aa	quatro patas duas patas
B	gene para cauda	BB Bb bb	cauda longa cauda média cauda pequena
C	gene para cor	CC Cc cc	laranja verde roxo
D	gene para chifre	d ou dd DD, Dd e D	chifre sem chifre

Cite o tipo de herança para os genes A, B, C e D, respectivamente.

15. PUC-MG – A cor das flores da ervilha-de-cheiro não é determinada por um único par de alelos como descrito por Mendel. Trata-se de um caso de interação gênica epistática, como pode ser deduzida pelo esquema abaixo.



Com base no esquema, assinale a afirmativa **incorreta**.

- O cruzamento de duas plantas com flores púrpura pode gerar descendentes com flores brancas.
- O cruzamento de duas plantas com flores brancas não pode gerar plantas de flores púrpura.
- A chance do cruzamento de duas plantas CcPp × CcPp gerar descendentes púrpura é de 9/16.
- A chance do cruzamento de duas plantas ccPp × CcPp gerar descendentes púrpura é de 1/4.

16. Sistema Dom Bosco – Na coloração da pelagem de ratos, o alelo dominante A determina pelagem aguti ou selvagem, e o alelo recessivo a determina a produção de pigmento da cor preta. Um outro gene “I” está envolvido na determinação da cor da pelagem dos labradores, controlando a deposição de pigmento nos pelos, enquanto o alelo recessivo “i” não condiciona essa deposição, atuando sobre A e a, fazendo com que o indivíduo apresente característica albina. Dessa forma, os ratos podem apresentar três tipos de pelagem: preta, aguti e albina. Utilizando os dados apresentados acima, podemos afirmar que:

- O cruzamento de ratos pretos duplo heterozigóticos (AaIi) produz descendentes agutis (A_I__), albinos (aaii/ A_ii) e pretos (aaI_) e na proporção de 9:3:4, respectivamente.
- Os ratos albinos descendentes do cruzamento de ratos duplo heterozigóticos podem ter genótipos AAii

(1/4), AaII (2/4) ou aaii (1/4), que, ao serem cruzados com um rato duplo heterozigótico, poderão gerar pelo menos 50% da prole albina.

- É um caso de epistasia recessiva, ou seja, quando um gene, em dose dupla, impede a expressão dos alelos de outro par, que pode ou não estar no mesmo par de cromossomos homólogos.

Está(ão) correta(s) a(s) afirmativa(s):

- Apenas I.
- I, II e III.
- Apenas III.
- Apenas I e III.
- Apenas II.

17. Sistema Dom Bosco – Suponha que uma determinada característica de herança poligênica apresenta quatro pares de alelos interagindo entre si. Calcule o número de fenótipos possíveis para essa característica.

ESTUDO PARA O ENEM

18. Sistema Dom Bosco

C4-H13

A cor de pelos de camundongos é determinada por dois pares de alelos: o gene A determina coloração aguti e é dominante sobre o alelo a, que determina coloração preta. O gene C determina a produção de pigmentos, e o gene c inibe a formação de pigmentos, originando indivíduos albinos, isto é, brancos com olhos vermelhos.

Com base nessas informações, marque a alternativa correta.

- É um tipo de epistasia dominante, e são formados 12 agutis, 3 albinos e 1 negro do cruzamento entre um casal duplo heterozigoto.
- É um tipo de epistasia dominante, e são formados 9 agutis, 4 albinos e 3 negros do cruzamento entre um casal duplo heterozigoto.
- É um tipo de epistasia recessiva, e são formados 12 agutis, 3 albinos e 1 negro do cruzamento entre um casal duplo heterozigoto.
- É um tipo de epistasia recessiva, e são formados 9 agutis, 4 albinos e 3 negros do cruzamento entre um casal duplo heterozigoto.
- É um tipo de interação gênica não epistática, e são formados 12 agutis para 3 pretos do cruzamento entre um casal duplo heterozigoto.

19. Sistema Dom Bosco

C4-H13

As abóboras podem apresentar três colorações diferentes: amarela, branca ou verde. Isso ocorre devido à interação de dois genes que se encontram em cromossomos diferentes: o gene Y e o gene W. O alelo Y determina o pigmento amarelo, enquanto o alelo y

determina o pigmento verde. O alelo W não permite que os pigmentos sejam produzidos, enquanto o alelo w permite. No cruzamento entre abóboras brancas duplo heterozigotas, teremos abóboras brancas, amarelas e verdes. Com base nessas informações e em seus conhecimentos, que tipo de herança é essa?

- Autossômica dominante.
- Pleiotropia.
- Interação gênica não epistática.
- Epistasia recessiva.
- Epistasia dominante.

20. Sistema Dom Bosco

C4-H13

A surdez congênita pode ocorrer por duas vias gênicas diferentes: um gene denominado D, responsável pela formação da cóclea, ou um gene denominado E, responsável pelo desenvolvimento do nervo auditivo. Ambos os *loci* apresentam dois alelos cada um, sendo que os alelos recessivos de cada *locus*, em homozigose, não desenvolvem as respectivas estruturas auditivas. Portanto, um indivíduo pode ser surdo por não desenvolver a cóclea (genótipo __dd) ou não desenvolver o nervo auditivo (genótipo ee__), ou, ainda, por não desenvolver nenhuma dessas estruturas (genótipo eedd). Com base nessas informações, pode-se afirmar que se trata da anomalia

- herança poligênica.
- interação gênica não epistática.
- epistasia dominante.
- epistasia recessiva.
- pleiotropia.

42

LIGAÇÃO GÊNICA E PERMUTAÇÃO

- Ligação gênica
- Permutação gênica

HABILIDADES

- Compreender o que são genes ligados.
- Explicar o padrão de segregação de genes ligados e não ligados na formação de gametas.
- Compreender o que é permutação gênica.
- Explicar a importância desses processos para a variabilidade genética das espécies.

Em 2018, pesquisadores da Universidade Federal da Bahia fizeram uma revisão da literatura sobre o autismo a fim de conhecer os dados científicos produzidos até então.

De acordo com esses pesquisadores, o termo **autismo** foi utilizado pela primeira vez em 1911 e designava crianças com dificuldade em se comunicar ou que tinham perdido o contato com a realidade.

As causas do autismo ainda não estão bem elucidadas. No entanto, há indícios de que mais de 826 genes estejam associados à doença e de que mais de 300 genes possivelmente estejam envolvidos no processo. As pesquisas apontam que a maioria dos genes se encontra nos cromossomos 2 e 7. Em cada um deles, há diversos **genes ligados**, muito próximos entre si e que são segregados juntos na meiose. Além desses cromossomos, há outras regiões nos cromossomos 1, 5, 15 e 16 com certo índice de ligação gênica em alguns trechos possivelmente associados ao autismo.

Em 2004, um estudo com 1826 indivíduos autistas constatou, por meio de análises citogenéticas, que todos apresentavam alterações no cromossomo autossômico 22 e nos cromossomos sexuais. A pesquisa também identificou deleções no cromossomo 15 possivelmente relacionadas ao autismo e a doenças genéticas, como as síndromes de Prader-Willi e de Angelman.

Segundo a cientista Elizabeth Carvalho da Veiga, nessa condição a inteligência intrapessoal pode estar alterada, e certos indivíduos são incapazes de conhecer suas limitações, seu corpo e sua imagem. Por outro lado, algumas pessoas autistas mostram capacidades extraordinárias para alguns saberes, como música e cálculos.



SIPHOTOGRAPHY/ISTOCKPHOTO

O autismo é um distúrbio complexo, mas que pode ser diagnosticado e tratado desde os primeiros meses de vida.

LIGAÇÃO GÊNICA

Como estudado em módulos anteriores, dois ou mais pares de alelos localizados em cromossomos diferentes segregam de forma independente. Entretanto, quando dois ou mais pares de alelos se encontram muito próximos no mesmo cromossomo ou no par de homólogos, eles segregam juntos e não se separam na formação dos gametas. Tal fenômeno pode ser denominado **ligação gênica** – também chamado de *linkage*, lei de Morgan ou terceira lei da herança.

A ideia foi proposta pela primeira vez em 1903 por Walter Sutton, na época um estudante da Universidade de Columbia, Estados Unidos. Houve grande repercussão na comunidade científica, que continuava bastante apegada às predições das leis de Mendel.

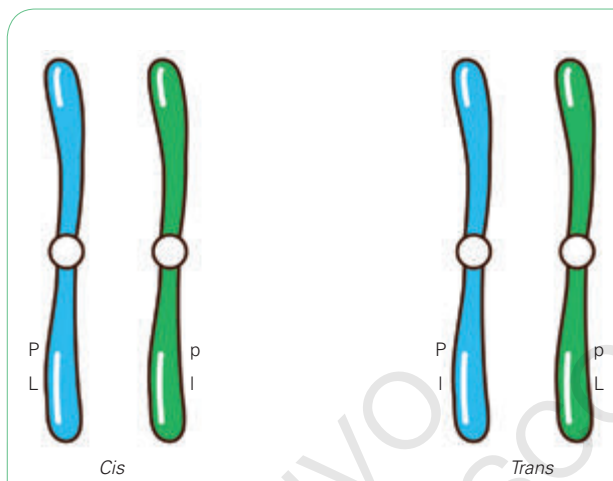
Somente em 1910 foi possível elaborar uma base sólida para essa teoria. Isso ocorreu após diversas complementações e outras experiências realizadas pelo geneticista Thomas Morgan e sua equipe, ao estudarem a transmissão de algumas características em *Drosophila melanogaster* (mosca-da-fruta), como a ausência de cerdas nas antenas, patas curtas, coloração do corpo, asas vestigiais, asas enroladas e cor dos olhos.

Morgan e seus colaboradores identificaram em drosófilas um padrão de características. Olhos marroms avermelhados e asas vestigiais e enroladas eram caracteres sempre observados juntos. Assim, não havia indivíduos, por exemplo, com olhos pretos e asas vestigiais. Portanto, tais características não seguiam o padrão postulado pela segunda lei de Mendel.

Com base nesses estudos, foi comprovado que todas essas características se encontravam no mesmo cromossomo homólogo e que durante a anáfase I da meiose elas eram segregadas em conjunto, uma vez que os genes se encontravam muito próximos uns dos outros no cromossomo.

POSIÇÃO DOS ALELOS NO PAR DE HOMÓLOGOS

Além de conhecer o genótipo do indivíduo, é necessário determinar a posição dos alelos no par de cromossomos homólogos. Assim, é possível encontrar as posições entre os alelos de um duplo heterozigoto, situado em dois *loci* diferentes. Quando os dois alelos dominantes estão em um cromossomo (**PL**) e os dois alelos recessivos em outro cromossomo (**pl**), a ligação é denominada *cis*. Quando o alelo dominante **P** e um recessivo **I** estão no mesmo cromossomo e os alelos **p** e **L** estão em um homólogo, a ligação é chamada *trans*. A ligação *cis* pode ser representada como **PL/pl** e a ligação *trans* como **PI/pL**.

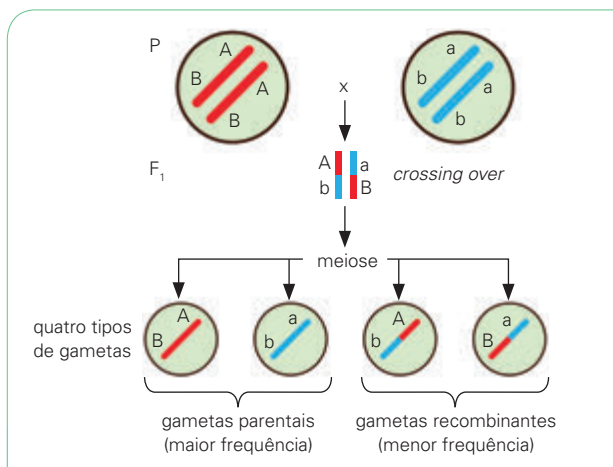


Representação de ligações gênicas *cis* e *trans* em cromossomos homólogos. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

PERMUTAÇÃO GÊNICA

A permutação gênica (ou *crossing over*) é o rearranjo de regiões de cromossomos por meio de troca de fragmentos durante a prófase I da meiose. Por meio desse processo ocorre a variabilidade genética entre os indivíduos da mesma espécie. Ele é responsável também pelo surgimento de novas espécies. A permutação gênica acontece geralmente em alelos que se segregam de forma independente, embora os genes ligados entre si possam também sofrer permutação. Trata-se de um processo capaz de alterar a tendência de união entre os alelos.

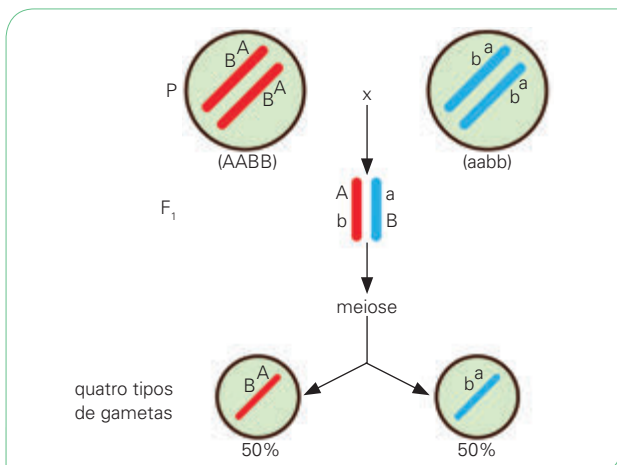
O *crossing over* produz novos rearranjos na posição inicial dos genes, o que possibilita a um indivíduo duplo heterozigoto gerar quatro gametas distintos com diferentes proporções. Observe a figura.



Representação esquemática de gametas produzidos por cromossomos homólogos duplo heterozigotos que apresentam genes parcialmente ligados. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

O *crossing over* ocorre apenas entre cromossomos que apresentam alelos que se encontram com **ligação incompleta** ou **linkage parcial** – ou seja, os alelos estão relativamente separados, o que possibilita a permutação.

Em caso de **ligação total** ou **linkage total**, é impossível ocorrer permutação, e os alelos segregam sempre unidos.



Representação esquemática de gametas produzidos por cromossomos homólogos duplo heterocigotos que apresentam genes totalmente ligados. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

O *crossing over* favorece o aumento da variabilidade genética porque produz gametas diferentes, originados de novos rearranjos. O mesmo não acontece em casos de genes totalmente ligados, e sempre há somente duas possibilidades de gametas. O *crossing over* ocorre ao acaso, de forma que é impossível prever em quais trechos do cromossomo as trocas acontecerão.

LEITURA COMPLEMENTAR

Variabilidade genética

A **variabilidade genética** pode ser definida como a diferença no material genético dos indivíduos de determinada população. Essa variação na carga genética dentro de uma população tem papel fundamental na evolução das espécies, uma vez que a seleção natural atua nos indivíduos mais bem adaptados. Assim, os genótipos mais vantajosos para certa condição ambiental apresentarão maior probabilidade de terem seus genes passados para as gerações futuras. Os indivíduos menos adaptados, por outro lado, têm menor taxa de sobrevivência para o ambiente em questão, e seus genes se tornam mais raros na população. A variação genética entre os indivíduos pode ser resultado de mutações es-

pontâneas no DNA, de fluxo gênico entre populações e de reprodução sexuada.

As mutações são mudanças aleatórias no DNA, que determina a aparência, o comportamento e a fisiologia dos organismos. Essas alterações são as principais responsáveis pela variabilidade genética entre indivíduos de uma população. Ocorrem na maioria das vezes de formas naturais, quando o DNA não se replica corretamente. Mudanças no DNA também podem ser causadas por fatores externos, como a exposição a produtos químicos ou à radiação. Neste caso, no entanto, geralmente são fatais e causam alterações tão drásticas no funcionamento do DNA que levam à morte do indivíduo.

O fluxo gênico (ou a migração) é um movimento de genes de uma população para outra. Essa troca de genes pode ser feita de diferentes maneiras, como a dispersão de indivíduos que podem se estabelecer em uma população diferente da que nasceu, ou mesmo um grão de pólen sendo transportado a um local distante.

As combinações gênicas podem ocorrer em uma população por meio da reprodução sexuada. Quando os organismos se reproduzem sexuadamente, ocorre uma mistura genética, resultando em novas recombinações de genes. Isso é percebido facilmente ao observar que os filhos nunca são iguais aos seus pais nem aos seus irmãos (com exceção aos gêmeos idênticos). Essa é uma vantagem em relação à reprodução assexuada, uma vez que a maior variabilidade genética promove proteção da população contra mudanças drásticas no ambiente, como mutações, doenças, mudanças climáticas, etc.

Além desses fatores, a variabilidade genética de uma população pode ser alterada pela deriva genética. Esse processo modifica aleatoriamente as frequências dos alelos ao longo do tempo, o que pode ocasionar a redução da variabilidade genética de determinada população e diminuir sua habilidade em se manter caso ocorra alguma alteração em seu ambiente. Além disso, a deriva genética age drasticamente em populações com um número de indivíduos reduzido, sendo particularmente importante para a conservação de espécies raras ou ameaçadas de extinção.

DUTRA, Pâmela Castro. Variabilidade genética. *InfoEscola*. Disponível em: <<https://www.infoescola.com/biologia/variabilidade-genetica/>>.

Acesso em: fev. 2019. (Adaptado)

ROTEIRO DE AULA

LIGAÇÃO GÊNICA E PERMUTAÇÃO

Ligação gênica

Quando dois ou mais pares de alelos se encontram

no mesmo cromossomo

Quando alelos dominantes de cada par se encontram no mesmo cromossomo, é do tipo

cis

Quando alelos dominantes de cada par se encontram em cromossomos diferentes, é do tipo

trans

É ligação total quando os genes estão

próximos

e segregam

juntos

Em duplo heterozigotos formam

dois tipos de

gametas

É ligação parcial quando os genes estão

relativamente distantes

Isso possibilita a ocorrência de

crossing over

Permutação

Quando há trocas de pedaços entre cromossomos

homólogos

Ocorre durante a

prófase I

da meiose

Processo importante para promover

variabilidade genética

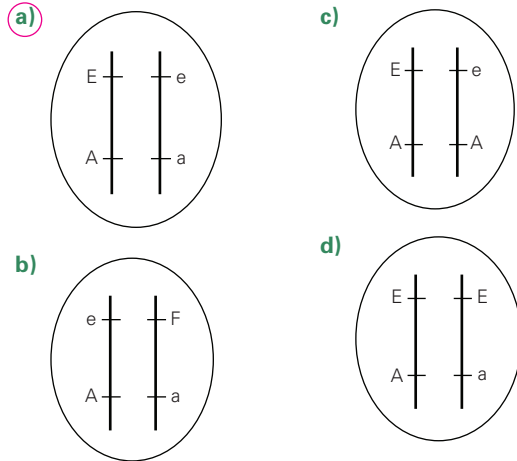
Em duplo heterozigotos formam

quatro tipos de

gametas

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. UFU-MG – Nos camundongos, o gene recessivo **e** produz pelos encrespados, e seu alelo dominante **E** pelos normais. Em outro par de genes alelos, o gene recessivo **a** produz fenótipo albino, enquanto seu alelo dominante **A** produz fenótipo selvagem. Quando camundongos diíbridos foram cruzados com camundongos albinos e de pelos encrespados, foram obtidos 79 camundongos de pelos encrespados e selvagens, 121 com pelos encrespados e albinos, 125 de pelos normais e selvagens e 75 com pelos normais e albinos. Qual esquema representa a posição dos genes no diíbrido?



De acordo com as informações, do cruzamento entre um indivíduo $EeAa$ e um $eeaa$, são gerados quatro descendentes diferentes, sendo dois em maiores proporções. Portanto, é um caso de *linkage* com *crossing over*. O indivíduo $eeaa$ produz 100% de gametas ea , enquanto o duplo heterozigoto forma gametas EA e ea em maiores proporções (gametas parentais) e Ea e eA (gametas recombinantes) em menores proporções. Dessa forma, conclui-se que os gametas parentais EA e ea vieram de um di-híbrido na posição *cis* (EA/ea).

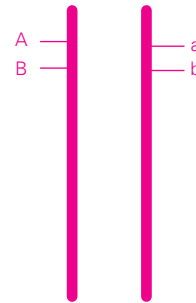
2. Unisinos-RS – O cruzamento cromossômico (*crossing over*) é a troca de material genético entre cromossomos homólogos que ocorre durante a _____ da _____. Essa recombinação gênica forma células-filhas geneticamente _____, que _____ a variabilidade genética da espécie.

Sobre o processo de divisão celular descrito acima, qual das alternativas abaixo preenche corretamente as lacunas?

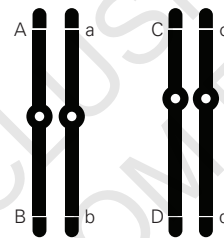
- a) prófase I; meiose; iguais; diminui
- b) prófase II; mitose; diferentes; aumenta
- c) prófase I; mitose; diferentes; aumenta
- d) prófase I; meiose; diferentes; aumenta**
- e) prófase II; meiose; iguais; diminui

O *crossing over* acontece na prófase I da meiose, quando os cromossomos homólogos são segregados. Dessa forma, são produzidos gametas diferentes, o que aumenta a variabilidade genética da espécie. Esse processo não ocorre na mitose.

3. Sistema Dom Bosco – Os genes podem estar ligados entre si, de maneira que segregam juntos durante a formação de gametas. Existem dois tipos de conformação entre os genes: *cis* e *trans*. Esquematize um cromossomo em posição *cis* de *linkage*.



4. UEA-AM – A representação ilustra cromossomos na fase G1 da interfase da meiose e destaca os alelos desses cromossomos para quatro características diferentes.

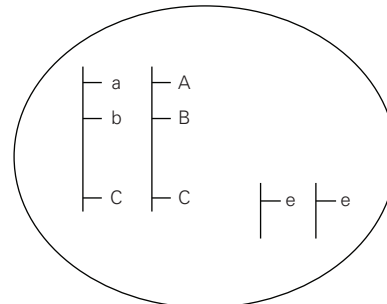


Durante a prófase I da meiose, haverá *crossing over* entre os genes

- a) B e a.
- b) b e c.
- c) D e d.
- d) A e B.**
- e) b e D.**

O *crossing over* ocorre apenas entre os pedaços que se encontram na mesma região, entre os cromossomos homólogos.

5. UFRGS-RS (adaptada) – O esquema a seguir se trata de uma célula diploide em que pode ocorrer permutação entre os genes A e B.



Marque a alternativa que apresenta todos os tipos de gametas normais que podem ser formados por essa célula.

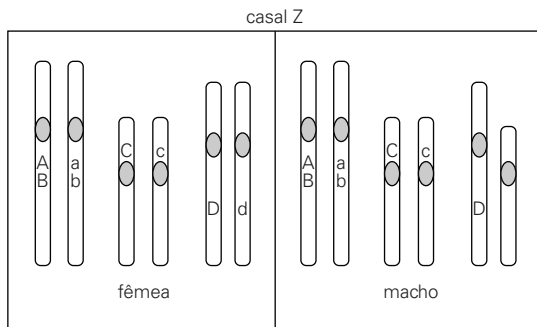
- a) AbCe; abCe; aBCe; ABCe**
- b) AbC; e; aBC; e
- c) AbCe; ABCe
- d) AbCe; aBCe
- e) AabCe; AaBCe; AbCe; aBCe

Essa célula tem genes no mesmo grupo de ligação A, B, C. Ela pode originar os gametas $abCe$, $ABCe$ (parentais) e $aBCe$, $AbCe$ (recombinantes).

6. UnB

C4-H13

Na figura a seguir estão representados pares de cromossomos homólogos de uma fêmea e de um macho de uma espécie animal imaginária, que formam o casal Z, e, na tabela, estão indicados os significados dos símbolos usados.



Julgue a afirmativa a seguir e justifique:

"Na figura, estão representados quatro *loci* gênicos. Os *loci* A e B estão ligados, sendo a taxa de *crossing over* entre eles muito alta".

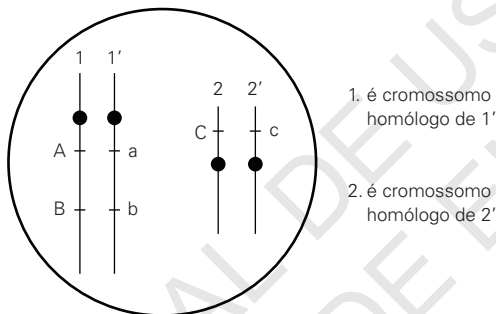
A afirmativa está incorreta porque, como os *loci* A e B estão ligados, a taxa de *crossing over* é muito baixa entre eles, de maneira que segregam juntos. Assim, produzem gametas que não seguem a proporção postulada na segunda lei de Mendel.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Reconhecer mecanismos de transmissão da vida, prevendo ou explicando a manifestação de características dos seres vivos.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. PUC-SP (adaptada) – Um indivíduo é heterozigoto para três pares de genes (AaBbCc), e esses genes estão localizados nos cromossomos, conforme é mostrado na figura.



Se uma célula desse indivíduo entrar em meiose e não ocorrer *crossing over*, podem ser esperadas, ao final da divisão, células com constituição

- a) AbC; aBc ou Abc; aBC.
- b) ABC; abc ou abC e abC.
- c) apenas ABC e abc.
- d) apenas Abc e abC.
- e) apenas AaBbCc.

8. PUC-SP – O cruzamento entre um heterozigoto AaBb e um homozigoto recessivo aabb produziu uma descendência com as seguintes taxas:

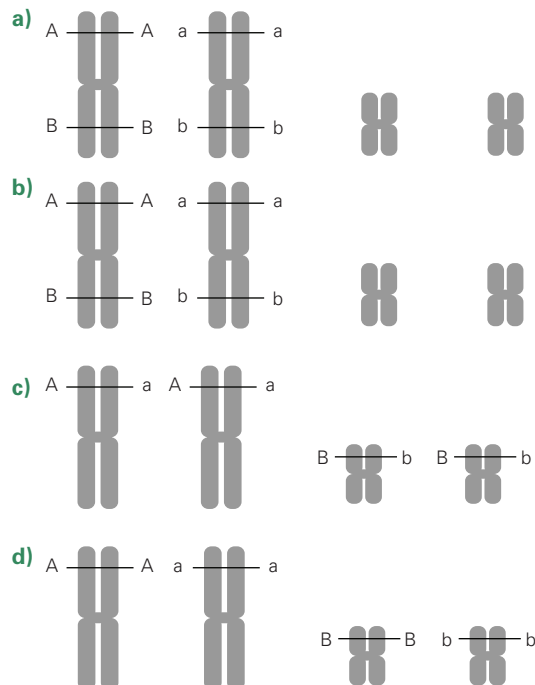
- AaBb – 2,5%
- aaBb – 47,5%
- Aabb – 47,5%
- aabb – 2,5%

Em relação ao resultado obtido, foram feitas cinco afirmações. Assinale a única **incorreta**.

- a) O resultado não está de acordo com a segunda lei de Mendel.
- b) No caso de herança mendeliana, o resultado esperado seria 25% para cada classe de descendente.

- c) Os genes em questão localizam-se no mesmo cromossomo.
- d) O heterozigoto utilizado no cruzamento produziu gametas Ab e aB por permutação ou *crossing over*.
- e) O heterozigoto utilizado no cruzamento apresenta constituição *trans*.

9. Unicamp-SP – Considere um indivíduo heterozigoto para dois *loci* gênicos que estão em *linkage*, ou seja, não apresentam segregação independente. A representação esquemática dos cromossomos presentes em uma de suas células somáticas em divisão mitótica é:



10. Sistema Dom Bosco – Quando dois ou mais pares de alelos se encontram no mesmo cromossomo ou estão muito próximos, eles podem segregar juntos, configurando uma exceção à segunda lei de Mendel. Existem dois tipos de *linkage*: parcial e total. Explique as diferenças entre eles, cite o número de gametas possíveis de serem produzidos em cada caso e em qual dos tipos é possível ocorrer permutação.

11. FURG-RS (adaptada) – Mendel acompanhou a transmissão de dois caracteres ao mesmo tempo, e os resultados levaram-no a concluir que: “fatores para dois ou mais caracteres são transmitidos para os gametas de modo totalmente independente”. Essa lei não é válida para os genes que estão em ligação gênica ou “*linkage*”; isto é, genes que estão localizados nos mesmos cromossomos. Observe as seguintes proporções de gametas produzidos pelo diíbrido AaBb em três situações distintas.

- I. AB (25%); Ab (25%); aB (25%); ab (25%).
- II. AB (50%); ab (50%).
- III. AB (40%); Ab (10%); aB (10%); ab (40%).

Pode-se afirmar que

- a) I e II são situações nas quais os genes segregam-se independentemente.
- b) II e III são situações nas quais ocorre segregação independente e ligação gênica sem *crossing over*, respectivamente.
- c) I e III são situações nas quais ocorre segregação independente e ligação gênica com *crossing over*, respectivamente.
- d) II é uma situação na qual ocorre ligação gênica com *crossing over*.
- e) III é uma situação na qual ocorre ligação gênica sem *crossing over*.

12. Facisa-MG (adaptada) – Quando analisamos cruzamentos genéticos levando em consideração duas características, se cada característica for determinada por um par de genes alelos, duas situações podem acontecer na formação dos gametas. Na primeira, os genes presentes nos cromossomos com segregação seguem destinos distintos, enquanto que, na segunda, os genes localizados em um mesmo cromossomo permanecem juntos após o *crossing over*. Com base no exposto e nos conhecimentos genéticos, analise as afirmativas a seguir:

- I. Obtendo-se as proporções de 1/2 para o gameta **AG** e 1/2 para **ag** observa-se que o fato não segue a 2ª lei de Mendel, e desta forma não houve segregação independente.
- II. Quando na formação de gametas **Ag** e **aG**, com baixa frequência, diz-se que houve *crossing over* e os *loci* estão localizados no mesmo cromossomo.
- III. No caso de formação de duplo heterozigotos com a presença de quatro tipos de gametas em proporções desiguais após o *crossing over*, ou permuta, registra-se a aplicação da 2ª lei de Mendel.
- IV. O *linkage* em conformação *cis* ocorre quando os alelos dominantes se encontram no mesmo cromossomo, enquanto a conformação *trans* ocorre quando há alelos dominantes e recessivos no mesmo cromossomo.

V. É possível ocorrer permutação entre genes totalmente ligados, de maneira que eles segregarão independentemente um do outro.

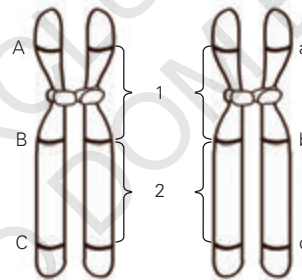
Estão incorretas:

- a) III e V.
- b) I, II e III.
- c) II, III e V.
- d) III e IV.
- e) I, IV e V.

13. Unicamp-SP (adaptada) – Um indivíduo é heterozigoto para três genes. Os alelos dominantes A e B estão no mesmo cromossomo e o gene C tem segregação independente dos outros dois genes. Se não houver *crossing over* durante a meiose, qual será a frequência esperada de gametas com genótipo abc produzidos por esse indivíduo?

- a) 1/2
- b) 1/4
- c) 1/6
- d) 1/8

14. Unioeste-PR (adaptada) – O desenho a seguir representa um par de cromossomos homólogos, com 3 genes: *gene A*, *gene B* e *gene C*, cada um destes possuindo dois alelos (alelo dominante e alelo recessivo). A partir deste desenho, cite os possíveis gametas, considerando que houve *crossing over* apenas na região 2.



15. UPE-PE (adaptada) – Um pesquisador tenta descobrir se pares de alelos, que atuam em duas características para cor (colorido - B e incolor - b) e aspecto (liso - A e rugoso - a) do grão do milho, se situam em pares de cromossomos homólogos ou no mesmo cromossomo (*linkage*).



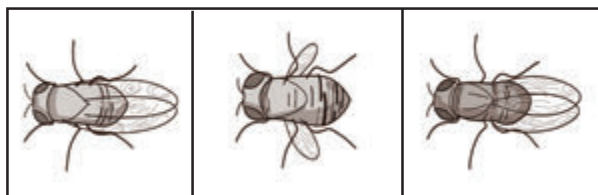
MICHAEL PHILLIPS/ISTOCKPHOTO

Ele efetuou o cruzamento de um duplo heterozigoto com um duplo recessivo, ou seja, P: AaBb × aabb. Qual alternativa representa o resultado correto da geração F1?

- a) Distribuição independente, de acordo com a 1ª Lei de Mendel, apresentando 4 genótipos e 2 fenótipos: coloridos/rugosos e incolores/lisos.
- b) Distribuição independente de acordo com a 2ª Lei de Mendel, apresentando as proporções 280 coloridos/lisos, 290 incolores rugosos, 17 coloridos rugosos e 13 incolores/lisos.
- c) *Linkage* com *crossing over* apresentando 4 genótipos e 2 fenótipos coloridos lisos e incolores rugosos.

- d) *Linkage* sem *crossing over* apresentando as proporções 75% AaBb; 25% aabb.
- e) *Linkage* com 4 genótipos e 4 fenótipos com dois tipos parentais em alta frequência, sem *crossing over* e dois tipos combinantes em baixa frequência com *crossing over*.

16. FGV-SP – Em experimentos envolvendo cruzamentos de moscas *Drosophila melanogaster*, cujos alelos apresentam ligação gênica, estudantes analisaram insetos selvagens, insetos com asas vestigiais e insetos com corpo escuro. As características fenotípicas e genotípicas estão ilustradas no quadro a seguir.

Selvagem V_E Asas vestigiais vv Corpo escuro ee

O cruzamento entre moscas duplo heterozigotas, VE/ve , com duplo recessivas, ve/ve , para essas características gerou cerca de 4800 descendentes. Admitindo-se que não ocorreu permutação entre os alelos, espera-se que

o número de descendentes selvagens; com asas vestigiais; com corpo escuro; e com asas vestigiais e corpo escuro seja, respectivamente, em torno de

- a) 3600; 450; 450 e 300.
 b) 2700; 900; 900 e 300.
 c) 2400; 0; 0 e 2400.
 d) 2400; 1200; 1200 e 0.
 e) 1200; 1200; 1200 e 1200.

17. Fuvest-SP (adaptada) – Nas células somáticas de um animal, um cromossomo tem os alelos M1, Q1, R1 e T1, enquanto seus homólogos apresentam os alelos M2, Q2, R2 e T2. Supondo que seja possível ocorrer *crossing over* entre os loci Q e R na divisão dessa célula, esquematize os possíveis gametas resultantes dessa divisão com os respectivos alelos dos loci M, Q, R e T.

ESTUDO PARA O ENEM

18. Sistema Dom Bosco

C4-H13

O pinhão-mansão (*Jatropha curcas*) é uma planta amplamente utilizada na produção de biocombustíveis e óleo. Além disso, apresenta boa adaptação em regiões semiáridas, como a caatinga brasileira, sendo uma alternativa economicamente viável aos pequenos agricultores e empresários da região. Em 2018, pesquisadores do Instituto de Ciências Biotropicais e Biotecnologia (China) realizaram o mapeamento genético dessa espécie e descobriram que há dez genes ligados, responsáveis por controlar o número de frutos em cada indivíduo.

Disponível em: <<https://biotechnologyforbiofuels.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13068-017-1004-9D>>. Acesso em: jan. 2019. (Adaptado)

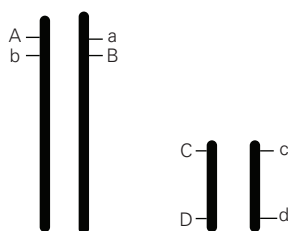
Quando genes estão ligados, isso significa que ambos

- a) estão muito próximos em um mesmo cromossomo.
 b) estão em cromossomos diferentes.
 c) obedecem à segunda lei de Mendel.
 d) conseguem trocar pedaços entre si.
 e) são genes mutantes capazes de promover doenças.

19. Sistema Dom Bosco

C4-H13

A figura a seguir representa dois pares de cromossomos homólogos, apresentando cada um deles alguns pares de genes em evidência: genes A, B, C e D.



A respeito desses cromossomos, é correto afirmar que

- a) o primeiro par de cromossomos apresenta genes ligados na posição *cis*.
 b) o segundo par de cromossomos apresenta genes ligados na posição *trans*.
 c) os alelos presentes no primeiro par de cromossomos segregam de forma independente na meiose.
 d) os alelos presentes no segundo par de cromossomos segregam de modo independente na meiose.
 e) é possível ocorrer permutação entre os genes C e A.

20. Enem

C4-H13

O Brasil possui um grande número de espécies distintas entre animais, vegetais e microrganismos envolvidos em uma imensa complexidade distribuídas em uma grande variedade de ecossistemas.

Fonte: SANDES, A.R.R.; BLASI, G. Biodiversidade e diversidade química e genética. Disponível em: <http://novatecnologias.com.br>. Acesso em: 22 set. 2015. (Adaptado)

O incremento da variabilidade ocorre em razão da permuta gênica, a qual propicia a troca de segmentos entre cromátides não irmãs na meiose. Essa troca de segmentos é determinante na

- a) produção de indivíduos mais férteis.
 b) transmissão de novas características adquiridas.
 c) recombinação genética na formação de gametas.
 d) ocorrência de mutações somáticas nos descendentes.
 e) variação do número de cromossomos característicos da espécie.

43

GAMETAS PARENTAIS, RECOMBINANTES E MAPAS CROMOSSÔMICOS

- Gametas parentais e recombinantes
- Mapas cromossômicos

HABILIDADES

- Diferenciar gametas parentais e recombinantes.
- Calcular a taxa de recombinação entre os cromossomos.
- Mapear um cromossomo baseado nas taxas de recombinação.
- Explicar o processo de mapeamento cromossômico.
- Compreender a importância da recombinação e do mapeamento cromossômico.

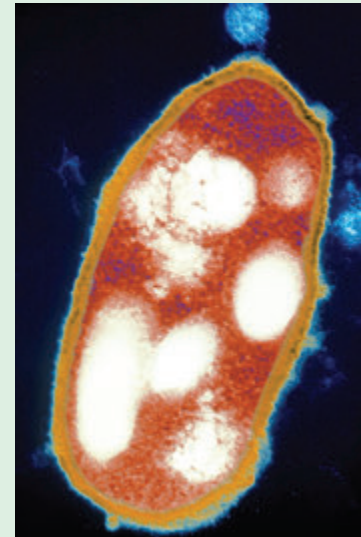
Anteriormente conhecidas como arqueobactérias, as arqueias compõem um domínio de organismos à parte de eucariotos e procariotos, uma vez que, apesar da semelhança morfológica com as bactérias, seus aparatos bioquímico e genético são bastante distintos. Em 2018, pesquisadores das universidades de Nottingham, Oxford e Edimburgo (Reino Unido) realizaram o mapeamento cromossômico da arqueia *Haloferax volcanii* e descobriram um novo possível cenário evolutivo para a arquitetura genômica de um ancestral em comum de eucariotos e arqueias.

Tanto eucariotos como as arqueias são formados por diversos cromossomos em comum e tal semelhança foi sempre de interesse para as pesquisas na área. Para explicar a origem desses cromossomos em comum, existem várias hipóteses, sendo as três mais aceitas: 1) mutações em várias cópias cromossômicas; 2) captura de novos cromossomos por transferência horizontal, isto é, originado em outros organismos; 3) aquisição de um novo cromossomo e quebra deste em dois cromossomos diferentes capazes de se replicar.

De acordo com a terceira hipótese, arqueias teriam adquirido novos cromossomos, incorporando-os ao genoma a, o que deu origem a um novo cromossomo, viável pela recombinação dos fragmentos de DNA de outros organismos. Os pesquisadores selecionaram um cromossomo e o dividiram em duas partes. A análise desses dois fragmentos gerados revelou que cada um representava um cromossomo legítimo, por ter regiões responsáveis pela formação de ácido ribonucleico ribossômico (RNAr), pela replicação do DNA e também por apresentar genes essenciais encontrados nos eucariotos. Dessa forma, o ancestral em comum de eucariotos e do grupo Archaea provavelmente passou por múltiplos eventos devido a diversos rearranjos genéticos.

Os pesquisadores concluíram que o cromossomo do ancestral em comum sofreu diversas permutações e apenas uma parte verdadeira dele foi mantida, originando a espécie em questão.

Estudos como esse contribuem para a compreensão da história evolutiva das espécies, bem como da importância dos genes em determinadas características e também no desenvolvimento de doenças.

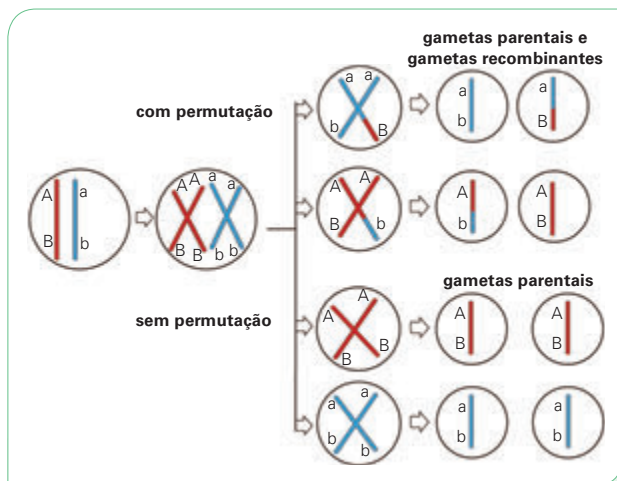


Micrografia eletrônica de transmissão de uma arqueia do gênero *Haloferax*. Aumento de 12.500x.

EYE OF SCIENCE/ SCIENCE PHOTO LIBRARY/ FOTOARENA

GAMETAS PARENTAIS E RECOMBINANTES

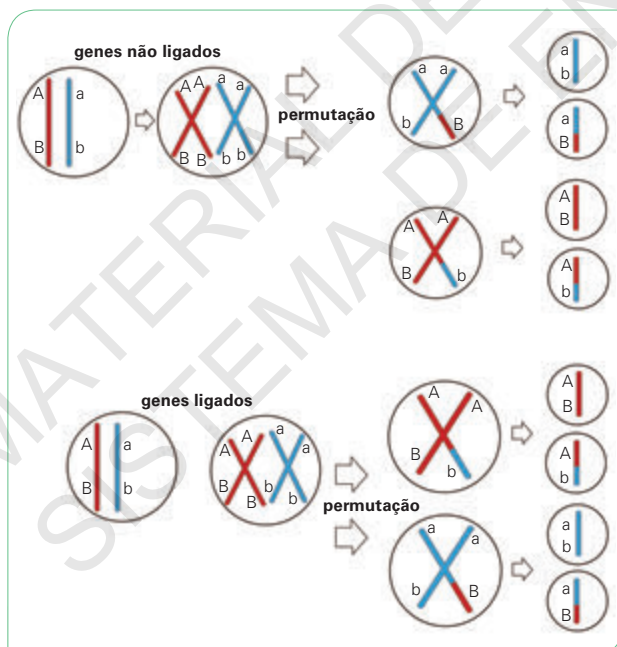
Quando as células de um indivíduo que apresenta genótipo **AB/ab** sofrem meiose para formar gametas, podem ocorrer variações se houver ou não permutação (*crossing over*). Se não houver *crossing over*, apenas dois tipos de gametas são formados: **AB** e **ab**. Por outro lado, se ocorrer *crossing over*, poderão ser formados, além dos gametas parentais (AB e ab), os gametas **aB** e **Ab**.



Representação da meiose de uma célula que apresenta o genótipo AB/ab, quando há permutação e quando não há permutação. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Quando não há permutação, são produzidos gametas com genótipos iguais aos da célula parental, sendo, portanto, denominados **gametas parentais**, dos quais 50% são **AB** e 50% são **ab**. Caso haja permutação, as proporções serão diferentes, sendo 25% **AB** e 25% **ab** de gametas parentais, e 25% **aB** e 25% **Ab** de **gametas recombinantes** em razão do *crossing over*. Esses novos rearranjos aumentam a variabilidade genética entre as espécies.

Dessa forma, essas taxas podem variar quando há ligação gênica, pois genes que se encontram ligados apresentam apenas dois tipos de gametas diferentes, enquanto aqueles que se encontram separados podem sofrer permutação.



Representação das diferenças na formação de gametas quando há genes não ligados e genes ligados, respectivamente. Os genes ligados sofrem duas interações: uma na qual os alelos estão ligados e, por isso, não sofrem *crossing over*, e uma na região proveniente de outro cromossomo (a região de cor diferente) e que não é ligada. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

TAXA DE RECOMBINAÇÃO

Thomas Morgan e outros geneticistas observaram que a chance de ocorrer permutação entre dois pares de alelos em *linkage* é proporcional à distância existente entre eles. Assim, quanto maior for a distância, maior a probabilidade de ocorrer *crossing over*. Não se trata de uma distância absoluta, mas de um valor relativo para mapear os cromossomos.

Para avaliar a ocorrência de permutação, determina-se a taxa de recombinação entre dois alelos da seguinte forma:

$$\text{Taxa de recombinação} = \frac{\text{gametas recombinantes} \times 100}{\text{total de gametas}}$$

O valor expressa a porcentagem de gametas recombinantes no total de gametas, uma vez que a relação é multiplicada por 100. Assim, se os gametas recombinantes representam 45% do total, a taxa de recombinação é de 45%.

Foi estabelecido que, para cada 1% de taxa de recombinação, a distância entre dois genes seria convenionada a uma unidade de recombinação, denominada **unidade de mapeamento cromossômico (UMC, UR ou centimorgan**, em homenagem a Thomas Morgan).

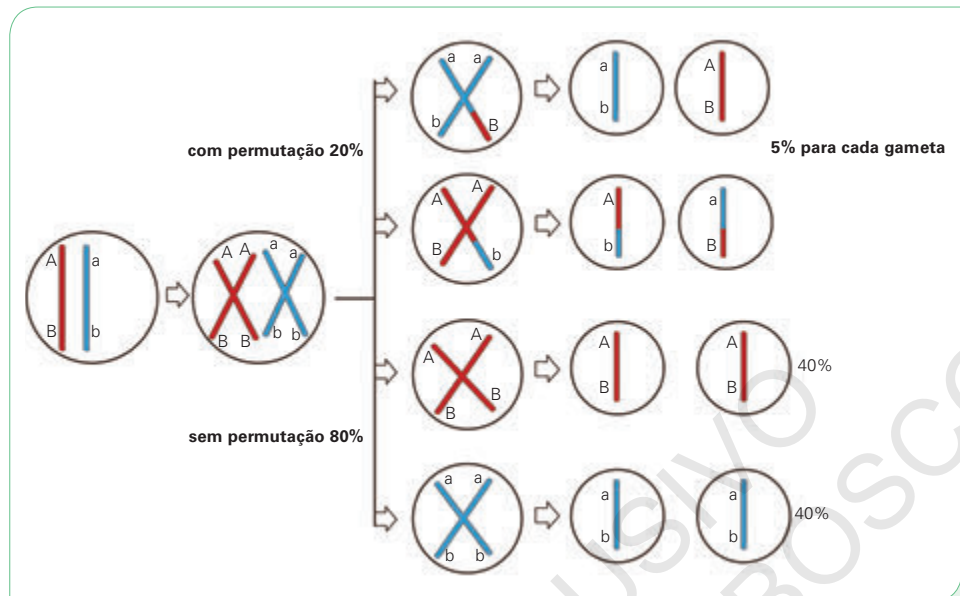
Cada **UMC** ou **centimorgan** é igual a 1% de permutação.

Se a distância entre dois genes for de 15 UMC, então a taxa de recombinação será de 15%. Vale ressaltar que a taxa de recombinação não reflete a quantidade de células que sofrem recombinação, mas a porcentagem de gametas que são recombinantes. Mesmo nas células em que ocorre *crossing over*, as cromátides externas não trocam fragmentos e dão origem a gametas parentais.

Suponha que um indivíduo apresente o genótipo AB/ab e que, durante a formação de gametas, 20% sofram permutação. Portanto, 80% não sofrem permutação e formam dois tipos de gametas: 40% **AB** e 40% **ab** (gametas parentais). Como 20% das células sofreram permutação, foram originados quatro tipos de gametas: 5% **AB**, 5% **ab**, 5% **aB** e 5% **Ab**, apresentando:

45%	AB
45%	Ab
5%	aB
5%	Ab

Dessa forma, 90% dos gametas são parentais (**AB** e **ab**) e 10% são recombinantes (**aB** e **Ab**). A partir desses resultados, pode-se concluir que a taxa de recombinação equivale à metade da quantidade de gametas que sofrem permutação, e os gametas parentais são sempre aqueles que surgem em maiores proporções.



Esquema que representa os possíveis gametas de uma célula que tem 20% de taxa de recombinação. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

MAPAS CROMOSSÔMICOS

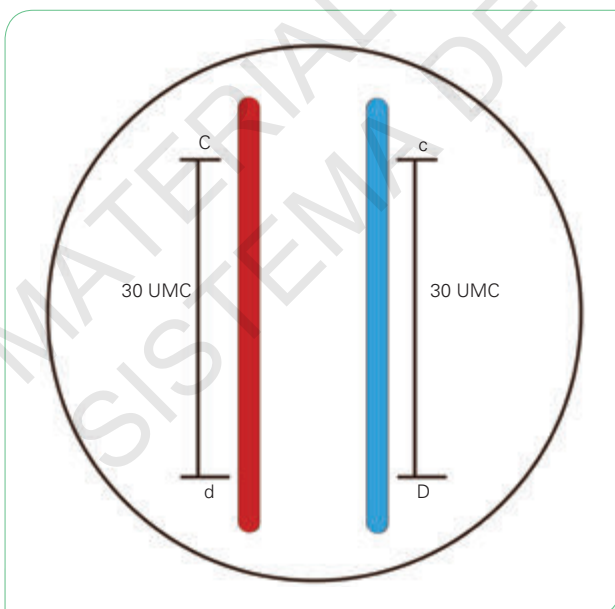
Os mapas cromossômicos são a representação linear da distribuição dos genes em um cromossomo. São feitos com base na distância relativa entre os genes, calculada a partir da taxa de recombinação entre eles.

Suponha que um indivíduo produza gametas nas seguintes proporções: 15% **CD**, 15% **cd**, 35% **cD** e 35% **Cd**. Com essas proporções, é possível identificar que se trata de um caso de *linkage*, caso contrário a proporção gamética seria igual para todos os gametas.

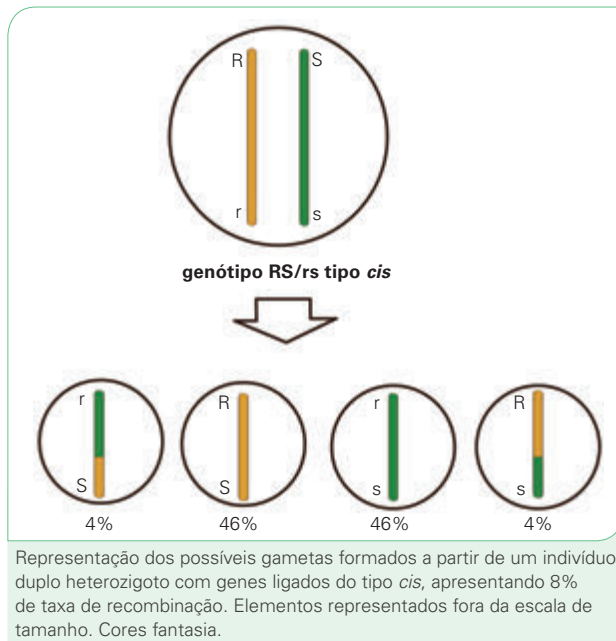
Os gametas que aparecem em maior proporção (**Cd** e **cD**) são os gametas parentais e, portanto, o genótipo desse indivíduo é **Cd/cD**, ou seja, duplo heterozigoto do tipo *trans*. Uma vez identificada a distribuição alélica, é possível determinar a distância entre eles pela taxa de recombinação. Do total de gametas gerados, 70% são gametas parentais, e 30%, são recombinantes (gametas **CD** e **cd**), o que indica que a taxa de recombinação é de 30% e a distância entre os *loci* é igual a 30 UMC. Tanto em gametas parentais quanto em recombinantes a distância obedece à proporção dos gametas recombinantes.

Quando se quer saber a porcentagem de gametas parentais e recombinantes, sabendo qual a posição dos pares de genes no cromossomo, é possível utilizar o mesmo raciocínio.

Em moscas-das-frutas (*Drosophila melanogaster*), por exemplo, há dois pares de alelos **Rr** e **Ss** que apresentam distância igual a 8 UMC. Suponha que um indivíduo apresente genótipo duplo heterozigoto em posição *cis*. Os gametas parentais são **RS** e **rs** e devem formar esses gametas em maiores proporções. Como a distância entre os *loci* é de 8 UMC, a taxa de recombinação é de 8% e, assim, 92% são gametas parentais. Dessa forma, os possíveis gametas produzidos são: 46% **RS**, 46% **rs**, 4% **rS** e 4% **Rs**.



Representação dos cromossomos parentais, em posição *trans*, e distância entre os pares de genes em questão. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.



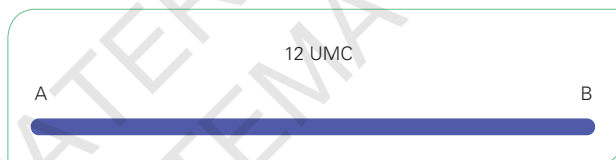
CONSTRUÇÃO DE MAPAS CROMOSSÔMICOS

Os primeiros cromossomos a serem mapeados foram os de *Drosophila melanogaster* e dos seres humanos, no Projeto Genoma Humano. A partir das taxas de recombinação é possível realizar o mapeamento do cromossomo utilizando a posição relativa dos genes ao longo de um cromossomo.

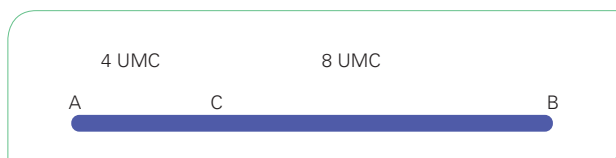
Suponha que os alelos **A**, **B**, **C** e **D** se encontrem em *linkage* e que a taxa de recombinação entre eles seja:

- A** e **B** = 12% (ou 12 UMC);
- A** e **C** = 4% (ou 4 UMC);
- B** e **C** = 8% (ou 8 UMC);
- C** e **D** = 6% (ou 6 UMC);
- D** e **B** = 2% (ou 2 UMC).

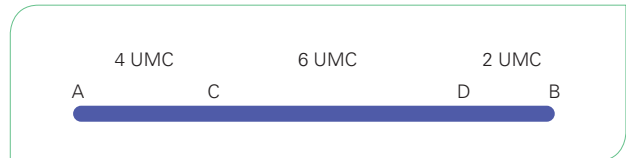
O mapeamento se inicia com a indicação da maior distância conhecida, neste caso, entre os alelos **A** e **B**.



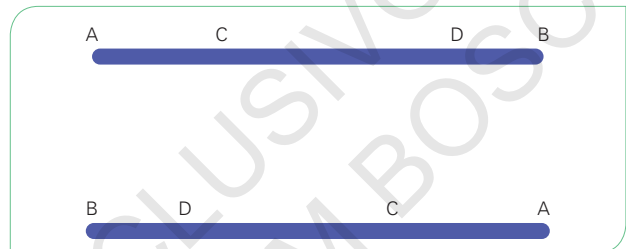
Em seguida, são adicionadas as distâncias sucessivamente em ordem decrescente. A distância entre **B** e **C** é de 8 UMC e a distância entre **A** e **C** é 4 UMC, indicando que **C** está entre **A** e **B**.



O alelo **D** está a 6 UMC de **C** e 2 UMC de **B**.



Portanto, a posição relativa desses alelos no cromossomo provavelmente é **A-C-D-B** ou **B-D-C-A**, conforme esquema.



LEITURA COMPLEMENTAR

Mapeamento genético do cromossomo sexual Z em aves

Em 2018, pesquisadores do Centro de Biologia Evolutiva de Uppsala, Suécia, realizaram o mapeamento do cromossomo sexual Z, presente nas aves, para investigar sua origem. Como resultado, verificou-se que aproximadamente 60% do cromossomo é constituído por regiões pseudoautosômicas, capazes de sofrer recombinação com cromossomos de ambos os sexos. Essas regiões são assim chamadas pois, apesar de sofrerem recombinação, são passadas de pai para filho, ou seja, estão vinculadas ao sexo devido a sua localização.

Além disso, ao comparar o cromossomo Z de avestruzes com o de outras espécies de aves e de répteis, perceberam que a linhagem das aves apresenta 25 genes ligados e invertidos, compartilhados com o ancestral em comum de aves e répteis. Os pesquisadores acreditam que o gene *DMRT1* é o responsável pela determinação do sexo, sendo proveniente de um ancestral, o que poderia ter provocado o início da evolução do cromossomo sexual nas aves.

Por fim, os pesquisadores concluíram que a evolução do cromossomo sexual das aves é caracterizada por um processo complexo de inversões que se deu provavelmente devido a rearranjos entre os cromossomos Z e W.

Disponível em: <<https://academic.oup.com/gbe/article/10/8/2049/5067707>>. Acesso em: fev. 2019. (Tradução da editora).

ROTEIRO DE AULA

GAMETAS PARENTAIS, RECOMBINANTES E MAPEAMENTO CROMOSSÔMICO

Gametas parentais e recombinantes

Quando os gametas são iguais aos da célula parental, são denominados

gametas parentais

Quando os gametas apresentam novos rearranjos são

gametas recombinantes

formados pela

permutação ou crossing over

Quanto

maior

a distância entre os genes

maior

a chance de ocorrer permutação

Taxa de recombinação = $\frac{\text{gametas recombinantes}}{\text{total de gametas}} \times 100$

Taxa de permuta é a

taxa UMC

Mapeamento cromossômico

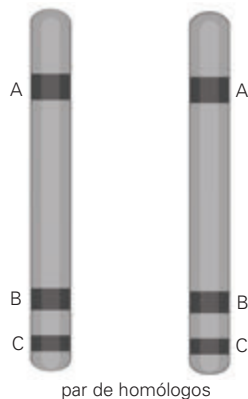
Representação linear da distribuição de

genes

no cromossomo

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. UEG-GO – O processo de divisão celular é extremamente importante nos processos biológicos. Durante a prófase da primeira divisão da meiose, os cromossomos homólogos podem passar por permutações entre si (recombinação ou *crossing over*), gerando gametas com uma combinação de alelos diferentes das combinações existentes nos cromossomos dos pais. A soma desses recombinantes é chamada de taxa ou frequência de recombinação. A figura a seguir exemplifica um caso de três genes: **A**, **B** e **C**, situados em um par de cromossomos homólogos.



Sobre as taxas de recombinação entre esses *loci*, verifica-se que a taxa de recombinação entre

- a) A, B e C é randomizada e inespecífica.
 b) A e C é maior que entre A e B.
 c) A e B é equivalente à taxa entre B e C.
 d) A e B é menor que entre B e C.

A taxa de recombinação é maior quanto maior for a distância entre os genes. Portanto, a chance de recombinação entre A e C é alta, seguida da chance de recombinação entre A e B. Entretanto, B e C apresentam baixa taxa de recombinação por estarem muito próximos.

2. UEL-PR (adaptada) – Suponha que a distância entre os *loci* **G** e **H** seja de 16 UMC. Qual é a taxa de recombinação entre eles?

- a) 8% c) 32% e) 84%
 b) 16% d) 42%

1 UMC é equivalente a 1% de taxa de recombinação. Portanto, 16 UMC é igual a 16% de taxa de recombinação.

3. Sistema Dom Bosco – Durante a meiose, podem ocorrer permutações entre os cromossomos, originando quatro tipos de gametas. Dois deles são denominados parentais, e outros dois são denominados gametas recombinantes. O que isso significa?

Gametas parentais são aqueles que apresentam o genótipo igual ao da

célula parental, e gametas recombinantes são aqueles que apresentam

novos rearranjos entre os genes provenientes da célula parental.

4. PUC-MG (adaptada) – Um pesquisador realizou o cruzamento entre dois indivíduos, um com genótipo **AaBb** e outro com genótipo **aabb**, que resultou na seguinte proporção genotípica em F1:

AaBb = 35% Aabb = 15%
 Aabb = 35% aaBb = 15%

Pode-se concluir, com base nesses resultados, que os genes **A** e **B**

- a) estão em um mesmo braço do cromossomo.
 b) seguem a segunda lei de Mendel.
 c) constituem um caso de interação gênica.
 d) são pleiotrópicos.
 e) são epistáticos.

De acordo com as proporções obtidas, percebe-se que as maiores proporções são de gametas parentais, e as proporções menores são de gametas recombinantes. Portanto, em razão da baixa proporção de gametas recombinantes e da existência de proporções completamente diferentes entre os gametas, percebe-se que os genes se encontram em um mesmo braço de cromossomo.

5. UEL-PR (adaptada) – O pepino pode apresentar frutos de cor verde brilhante e textura rugosa, expressos respectivamente por dois genes autossômicos ligados a uma distância de 30 UMC. Considere o cruzamento entre plantas duplo heterozigotas em arranjo *cis* e duplo homozigotas de cor verde fosca e textura lisa. Com base nessas informações e em seus conhecimentos sobre o tema, considere as afirmativas a seguir, com as proporções esperadas destes cruzamentos:

- I. 15% dos frutos serão de cor verde fosco e textura rugosa.
 II. 25% dos frutos serão de cor verde fosco e textura lisa.
 III. 25% dos frutos serão de cor verde brilhante e textura lisa.
 IV. 35% dos frutos serão de cor verde brilhante e textura rugosa.

Assinale a alternativa correta:

- a) Somente as afirmativas I e IV são corretas.
 b) Somente as afirmativas II e III são corretas.
 c) Somente as afirmativas III e IV são corretas.
 d) Somente as afirmativas I, II e III são corretas.
 e) Somente as afirmativas I, II e IV são corretas.

Seja **A** o alelo responsável pelo aspecto brilhante, **a** pelo aspecto fosco, **B** responsável pela textura rugosa e **b** pela textura lisa. Como houve cruzamento entre **AB/ab** e **ab/ab**, com 30 UMC de distância entre os genes, então 15% dos gametas são **aB**, 15% são **Ab**, 35% são **AB** e 35% são **ab**, sendo estes últimos em maior proporção, iguais aos genótipos parentais, as afirmativas II e III estão incorretas, porque deveria ser 35%, igual aos gametas parentais.

6. UFES

C4-H13

Alunos do curso de Ciências Biológicas realizaram cruzamento-teste entre tomateiros para analisar diferentes genes e obtiveram os resultados a seguir:

GRUPOS DE ALUNOS	GENES	TAXA DE RECOMBINAÇÃO
G1	aw/wo	9%
G2	op/al	14%
G3	dil/sr	50%

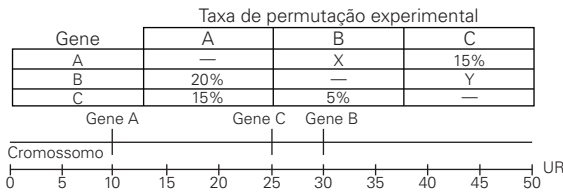
Com base nessas informações, indique qual(is) grupo(s) trabalhou(aram) com genes ligados e explique como você chegou a essa conclusão. Além disso, calcule a distância em unidades de mapa genético entre os genes pesquisados pelos alunos do grupo G2.

Os grupos G1 e G2 trabalharam genes ligados devido às baixas taxas de recombinação apresentadas. O grupo G3 trabalhou genes não ligados, por apresentar 50% de taxa de recombinação. A distância dos genes analisados pelo grupo G2 é de 14 unidades de recombinação (UMC), pois permutam em uma frequência de 14%.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Reconhecer mecanismos de transmissão da vida, prevendo ou explicando a manifestação de características dos seres vivos.

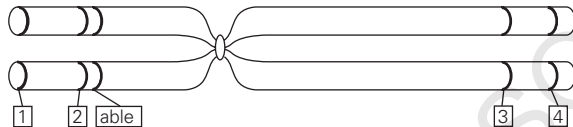
13. UESC-BA (adaptada) – A taxa de permutação entre genes ligados é constante e depende da distância entre eles. O quadro a seguir apresenta um exemplo de mapa gênico, mostrando a distribuição dos genes ao longo do cromossomo e as distâncias entre eles.



Baseado nos valores apresentados, é possível afirmar que as taxas de permutação corretas em X e Y são, respectivamente,

- a) 5% e 20%.
- b) 15% e 20%.
- c) 15% e 5%.
- d) 20% e 15%.
- e) 20% e 5%.

14. UFPR (adaptada) – A figura a seguir representa um cromossomo hipotético, em que estão assinaladas as posições de 5 genes (aqui chamados de able, binor, clang, ebrac e fong) e a tabela na sequência mostra a distância entre eles.



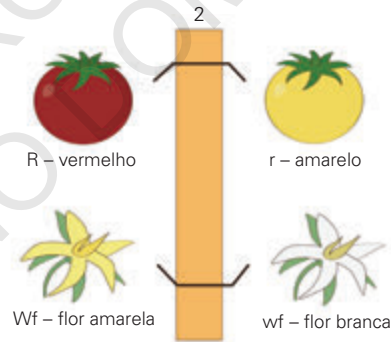
PARES DE GENES	DISTÂNCIA ENTRE ELES (unidades de recombinação-UR)
Clang-binor	10,7
Binor-able	2,8
Able-fong	72,6
Able-clang	13,5
Fong-ebrac	8,4
Fong-binor	75,4
Fong-clang	86,1
Ebrac-able	81,0
Ebrac-binor	83,8
Ebrac-clang	94,5

Com base nessas informações, cite a posição correta dos genes.

15. Ufam – O cruzamento **AB/ab** × **ab/ab** produziu 200 descendentes. Quantos indivíduos deverão apresentar o genótipo **Ab/ab**, sabendo-se que a frequência de permutação é de 20%?

- a) 10
- b) 20
- c) 40
- d) 60
- e) 80

16. UPE-PE – O tomate *Solanum lycopersicum* tem 12 pares de cromossomos, e sua flor é hermafrodita, ocasionando percentual de cruzamento natural inferior a 5%. A geração parental foi submetida a cruzamento por meio de uma polinização cruzada artificial, utilizando a parte feminina da flor de uma planta selvagem para cruzamento com a parte masculina de outra, com características recessivas, resultando em uma F1 duplo heterozigota. No quadro a seguir, observamos: a representação esquemática do cromossomo 2 de tomate com dois genes, seus respectivos alelos e características fenotípicas; os resultados da prole de um cruzamento de tomates duplo heterozigotos (F1) com duplo homozigotos.

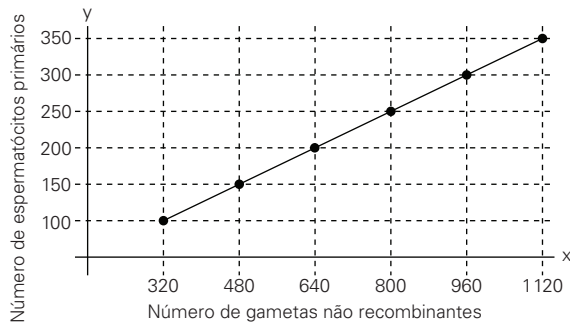


PERCENTUAL F2	FENÓTIPO
41%	Fruto vermelho e flor amarela
41%	Fruto amarelo e flor branca
9%	Fruto vermelho e flor branca
9%	Fruto amarelo e flor branca

Com base nessas informações, conclui-se que

- a) o cruzamento-teste de plantas duplo heterozigotas F1 mostra a formação de quatro tipos de gametas em proporções esperadas para uma distribuição do tipo independente.
- b) o desvio nas proporções ocorre por causa da ligação entre o gene para a cor do fruto e o gene para a cor das flores que distam 9% centímetros.
- c) o resultado de gametas apresentado para a prole F2 configura arranjo do tipo *trans* para o cromossomo 2 dos indivíduos da F1.
- d) os gametas portadores dos alelos R/Wf e r/wf ocorrem em percentual maior que os não parentais evidenciando a ligação.
- e) parte da prole F2 mostra fenótipo recombinante em maior frequência, indicando que os alelos dos dois genes se recombinaram na F1 e a distância entre eles é de 18% unidade de recombinação.

17. UFSC (adaptada) – O gráfico a seguir representa o número de gametas não recombinantes (eixo x) em relação ao número de espermatócitos primários (eixo y) de um indivíduo com genótipo **AaBb**.



Sabendo que os genes estão em ligação e em arranjo *cis* (AB/ab), responda:

a) Qual a distância entre os genes A e B?

b) Quais gametas seriam formados e em que percentual caso estivessem em arranjo *trans*?

ESTUDO PARA O ENEM

18. Sistema Dom Bosco

C4-H13

As libélulas apresentam em um dos seus cromossomos dois genes: **E** responsável pela estrutura do corpo que pode ser lisa (alelo **E**) ou estriada (alelo **e**) e o gene **C**, responsável pelo tamanho da asa, que pode ser longa (alelo **C**) ou curta (alelo **c**). Uma libélula fêmea duplo heterozigota foi cruzada com um macho duplo recessivo, apresentando como resultado da geração F1:

35% libélulas com corpo liso e asa longa

35% libélulas com corpo estriado e asa curta

15% libélulas com corpo liso e asa curta

15% libélulas com corpo estriado e asa longa

Sobre a geração F1, marque a alternativa correta:

- Não houve permutação entre os cromossomos.
- As proporções maiores se referem aos gametas recombinantes.
- Como a proporção entre gametas é igual, significa que houve ligação gênica.
- A taxa de recombinação entre os genes é de 15%.
- Não é possível explicar como ocorreram esses quatro fenótipos.

19. Sistema Dom Bosco

C4-H13

O quadro a seguir representa a taxa de recombinação entre seis genes que se encontram em um mesmo cromossomo. Cada gene é responsável por uma característica específica e pode ou não segregar em conjunto, conforme a taxa de recombinação entre eles.

Genes	Taxa de recombinação (%)
C-H	80
D-G	10
E-H	40
F-C	20
G-E	20
H-D	10

Com base nessas informações, qual é a sequência correta dos genes no cromossomo?

a) G-E-D-H-C-F

b) F-E-G-D-H-C

c) E-F-D-G-H-C

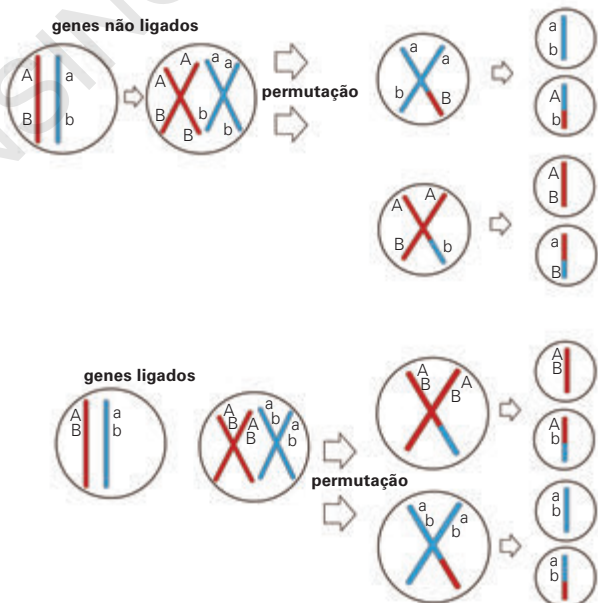
d) C-E-F-D-G-H

e) C-F-E-G-D-H

20. Sistema Dom Bosco

C4-H13

A figura a seguir representa a divisão meiótica de duas células: uma apresentando *crossing over* e outra não. Suponha que os genes se referem à cor dos olhos (azul ou castanho para os alelos **a** e **A**, respectivamente) e tipo de cabelo (liso ou cacheado, para os alelos **b** e **B**, respectivamente).



Com base nesse esquema, podemos afirmar que

- a célula 1 apresenta genes ligados e ocorreu permutação entre eles.
- a célula 2 apresenta genes ligados e ocorreu permutação entre eles.
- gametas originados a partir da célula 1 sempre formarão indivíduos de olhos azuis e cabelos cacheados.
- gametas originados a partir da célula 2 sempre formarão indivíduos de olhos castanhos e cabelos lisos.
- a célula 2 formará apenas um único tipo de gameta.

BIOTECNOLOGIA E TECNOLOGIA DO DNA RECOMBINANTE

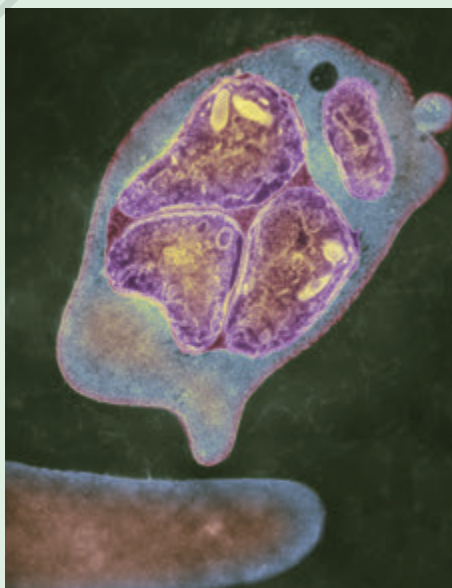
A malária é causada por protozoários do gênero *Plasmodium* de pelo menos cinco espécies capazes de infectar o ser humano. Esses protozoários entram na corrente sanguínea através da picada do mosquito do gênero *Anopheles* e se reproduzem no interior das hemácias até rompê-las, alimentando-se dos nutrientes no ambiente e provocando sintomas graves. Entretanto, o ciclo de vida desses organismos é bastante complexo, podendo apresentar formas assexuadas e sexuadas, que são diferentes nos hospedeiros.

Quando o parasito está no mosquito, ele sofre gametogênese e gera gametas que se juntam para formar o zigoto móvel, que viaja através do intestino médio do *Anopheles* até chegar na probóscide (aparelho sugador) do inseto, de onde é inoculado no ser humano. É no mosquito que o parasito adquire a forma infectante em humanos.

Há diversos medicamentos capazes de tratar a malária. Eles atuam diretamente na fase em que o protozoário se multiplica no sangue. Com o uso do medicamento, apenas os parasitos que rompem as hemácias são mortos e aqueles que estão no fígado ficam adormecidos, e nesse estado de dormência não se multiplicam como antes e não rompem as hemácias, não causando então os sintomas visíveis. O tratamento é de longa duração (cerca de 14 dias). Sem eficácia de 100%, o que geralmente ocorre é que já nos primeiros dias o paciente se vê livre dos sintomas da doença e não dá continuidade ao tratamento. No entanto, mesmo não apresentando os sintomas da doença, o indivíduo continua carregando formas do microrganismo que são capazes de ser transmitidas pelo mosquito para outros indivíduos.

Em 2018, pesquisadores da Universidade de São Paulo (USP) desenvolveram um parasito transgênico a fim de testar a eficácia de novas drogas contra a malária. Foi adicionado ao genoma do protozoário uma sequência de DNA extraída de camarão, responsável pela síntese de uma proteína chamada nanoluciferase. Essa proteína, que passa a ser produzida pelo protozoário, emite luz fluorescente enquanto o organismo estiver vivo. Dessa forma, caso a nova droga seja bem-sucedida contra o parasito, este para de sintetizar a proteína e a luz fluorescente deixa de ser emitida. Analogamente, no caso de a droga não matar o protozoário, a luz continua a ser emitida.

Até o momento o teste tem sido realizado em placas de laboratório, que contêm de 96 a 1 536 poços, e em cada um deles são adicionados os gametas e uma droga diferente a ser testada. Os gametas foram escolhidos para os testes, pois, se houver alguma alteração neles, o ciclo de vida não terá continuidade e será parado logo no começo, impedindo que sejam criados “estoques escondidos” do parasito, como pode ocorrer no tratamento utilizado atualmente. Ao todo, foram testadas 400 drogas, e no momento o grupo de pesquisa avalia



Micrografia eletrônica de transmissão de *Plasmodium* sp. (marrom) em uma hemácia (em verde) em estágio de trofozoíto. Aumento de 9300x.

- Biotecnologia e tecnologia do DNA recombinante
- Organismos transgênicos

HABILIDADES

- Compreender a importância da biotecnologia.
- Descrever os principais métodos utilizados na engenharia genética.
- Relacionar o uso de enzimas de restrição e ligação com clonagem gênica.
- Diferenciar organismos geneticamente modificados de organismos transgênicos.
- Citar os pontos positivos e negativos da produção de transgênicos.

quais são as mais promissoras para que sejam testadas em modelos de parasitas que infectam humanos, pois até então foram utilizadas apenas as formas infectantes de espécies de camundongos. Estudos como esse ajudam a desenvolver melhores formas de bloqueio contra transmissões de doenças complexas como a malária.

BIOTECNOLOGIA E TECNOLOGIA DO DNA RECOMBINANTE

A biotecnologia (do grego: *bios* = vida; *tecno* = utilização prática da ciência; *logos* = conhecimento) é um conjunto de técnicas que possibilitam a seleção e modificação de organismos. Tal prática está presente na produção de pães, vinhos e antibióticos desde meados de 1800 a.C. e envolve o emprego de microrganismos. Atualmente, é empregada na produção de medicamentos e vacinas e na seleção de animais e plantas, como na produção de rosas ou, ainda, na domesticação de animais, originando raças de cães, gatos, gados e cavalos.

Aliada aos conhecimentos da Biologia, da Química e da Engenharia, a Biotecnologia procura criar e desenvolver bioprodutos aplicáveis. Nas últimas décadas, após a descoberta da estrutura e da propriedade do DNA, houve a incorporação de técnicas de manipulação dessa molécula *in vitro*, denominada **engenharia genética**.



A engenharia genética estuda e desenvolve técnicas de melhorias genéticas humanas.

DNA RECOMBINANTE

O DNA recombinante é uma molécula híbrida produzida a partir da união de DNAs de origens diferentes. Este é o caso do gene humano responsável pela síntese de insulina, que pode ser ligado ao DNA de uma bactéria e produzido como medicamento para pessoas com diabetes, por exemplo. O DNA de um organismo também pode ser combinado a um fragmento de DNA produzido sinteticamente em laboratório.

O primeiro experimento realizado nesse ramo ocorreu em 1972 pelo pesquisador estadunidense Paul Berg (1926), ganhador do Prêmio Nobel de Química. Ele uniu uma cadeia de DNA de origem animal com uma ca-

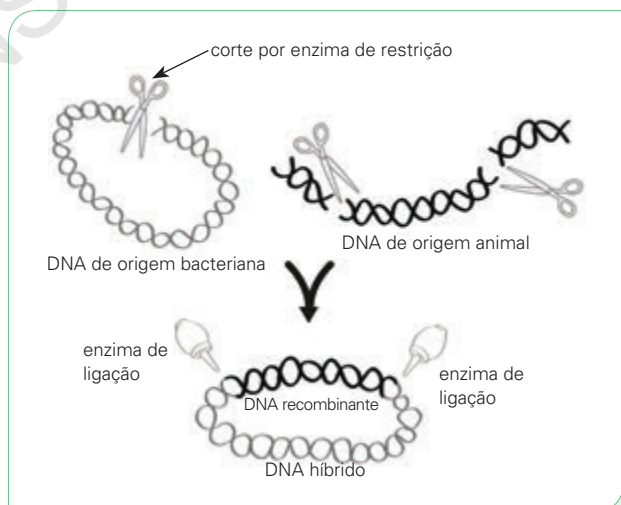
deia de origem bacteriana, uma vez que a molécula de DNA, independentemente de sua origem, apresenta o mesmo código genético, que é universal. A biotecnologia como a conhecemos atualmente surgiu naquela época e, desde então, as tecnologias e manipulações tornaram-se frequentes. Posteriormente foram desenvolvidas as enzimas de restrição e a clonagem gênica.

ENZIMAS DE RESTRIÇÃO

As enzimas de restrição são fundamentais para que ocorra a formação do DNA recombinante, porque ela é responsável por cortar os trechos do DNA em fragmentos específicos (geralmente genes) com sequências de bases que sejam de interesse. Em seguida, esses fragmentos são inseridos em outra molécula de DNA, tornando-a híbrida. Há casos em que esse fragmento não é combinado a outro, sendo utilizado de forma isolada, para a verificação de medicamentos, ou mutações naquela sequência. Uma enzima chamada **DNA ligase**, ou **enzima de ligação**, atua na inserção de regiões de interesse em outra molécula de DNA.

Quem descobriu as enzimas de restrição foram os pesquisadores Werner Arber, Daniel Nathans e Hamilton O. Smith, que ganharam o Prêmio Nobel de Fisiologia e Medicina em 1978. Atualmente, existem centenas de enzimas de restrição e são geralmente encontradas no sistema de defesa das bactérias, atuando contra bacteriófagos, fragmentando o DNA viral e inativando-o.

Enzimas de restrição são atualmente comercializáveis, sendo isoladas principalmente de bactérias *E. coli*, e são amplamente utilizadas na área da biologia molecular.



Esquema de produção de um DNA recombinante que enfatiza a função da enzima de restrição e da DNA de ligação. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

CLONAGEM GÊNICA

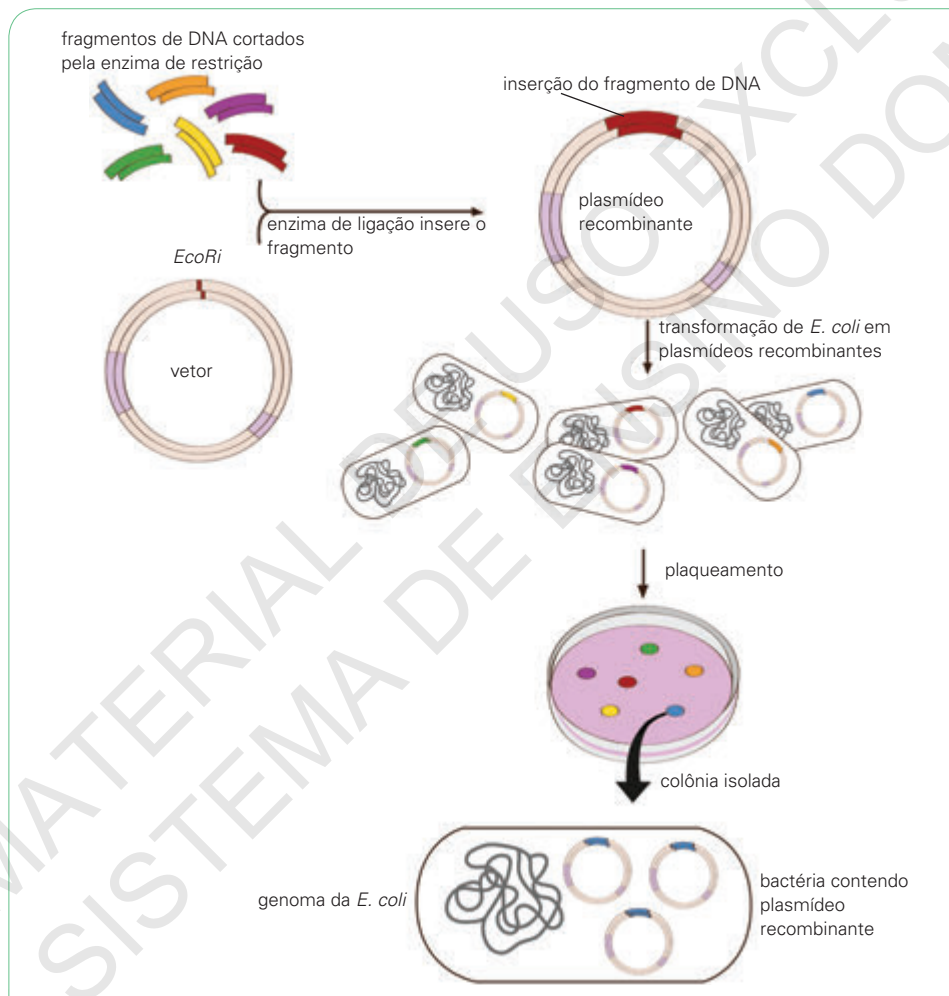
A clonagem gênica é a produção de inúmeras cópias idênticas de um mesmo fragmento de DNA. Esse processo se inicia a partir do isolamento do fragmento de interesse pela ação da enzima de restrição e, então, esse trecho é inserido em moléculas de DNA de **vetores** (bactérias ou vírus) que, ao se reproduzirem,

replicam também as moléculas recombinantes que foram inseridas. A escolha do vetor depende do tamanho do fragmento de DNA que será clonado. Inserir os fragmentos em vetores de bactérias e vírus permite que a clonagem (ou replicação) dos fragmentos seja extremamente rápida e em grandes quantidades, aumentando exponencialmente o número de fragmento produzidos.

Plasmídeos

Os **plasmídeos** são pequenas moléculas de DNA circular encontrados exclusivamente em bactérias. Esses fragmentos possuem um mecanismo de replicação independente e são facilmente trocados entre as bactérias e entre as bactérias e o hospedeiro durante a conjugação. Uma das propriedades mais conhecidas dos plasmídeos é a presença de genes que conferem resistência a determinados antibióticos. Vale ressaltar que, além dos plasmídeos, as bactérias possuem um material genômico também circular, no qual é encontrada uma quantidade bem maior de genes do que nos plasmídeos.

Os plasmídeos podem ser usados como vetores por não interferirem na reprodução do indivíduo, visto que as funções reprodutivas das bactérias são reguladas pelo material genômico. São aceitos fragmentos de até 10 mil pares de bases para ocorrer o procedimento com eficiência.

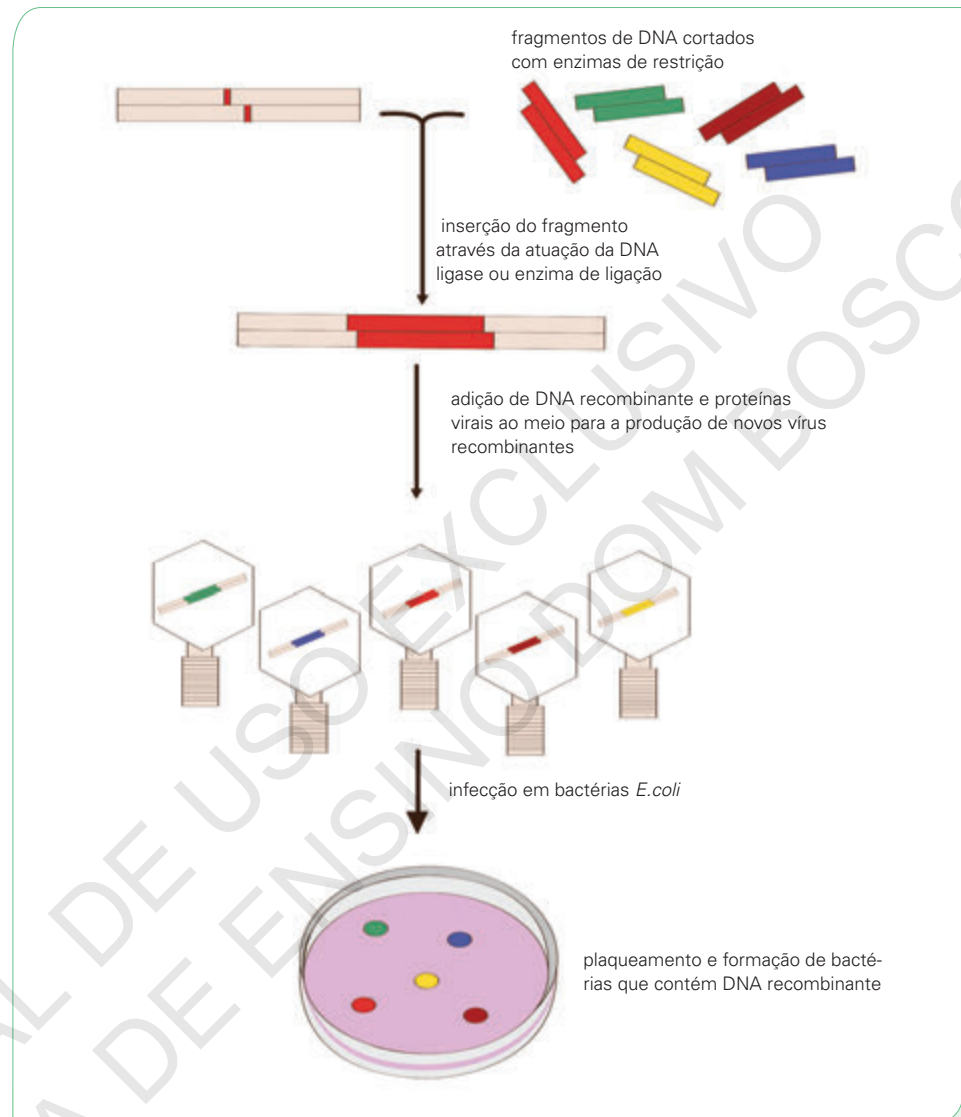


Procedimentos para obtenção da clonagem de determinado gene que utilizam plasmídeos como vetores. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Bacteriófagos

Os vírus também são utilizados como vetor na clonagem de genes, por sua fácil manipulação sem que seja alterado seu processo reprodutivo. O bacteriófago se caracteriza por infectar apenas organismos procariotos e pode pertencer a vírus

de DNA ou RNA. É possível adicionar fragmentos de até 20 mil pares de bases de maneira que o procedimento ocorra com sucesso. Assim como em plasmídeos, nos bacteriófagos também são utilizadas enzimas de restrição capazes de cortar o fragmento alvo para clonagem e enzimas de ligação para inseri-lo na molécula de DNA do bacteriófago, conforme ilustrado a seguir.



Procedimentos para obtenção da clonagem de determinado gene que utilizam bacteriófagos como vetores. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

ORGANISMOS TRANSGÊNICOS

Organismos Geneticamente Modificados (OGM) são aqueles que apresentam seu **material genético modificado** (DNA ou RNA) a partir de técnicas de engenharia genética. Vale ressaltar que todo transgênico é um organismo geneticamente modificado, mas não são todos os OGM que são **transgênicos**, pois, para ser considerado como tal, o organismo deve **receber um ou mais genes de outros organismos**. Uma bactéria, por exemplo, pode ser geneticamente modificada para superexpressar uma proteína, o que caracteriza um OGM, mas não um transgênico. Caso ela receba um gene ou mais de outros organismos, como o gene de camarões, responsável por produzir a nanoluciferase, ela será um transgênico.

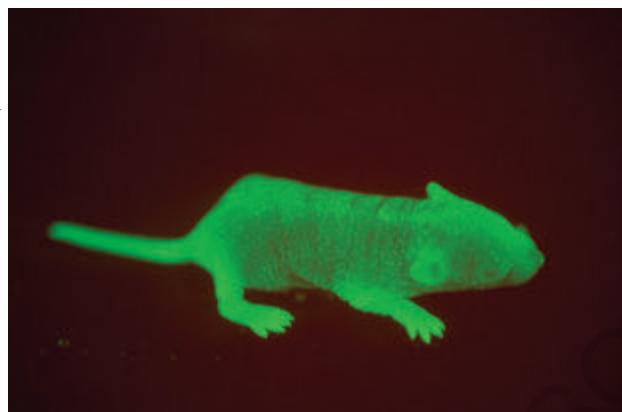
Não é qualquer tipo de modificação genética que permite tornar um organismo transgênico pois mutações podem ocorrer naturalmente e ao acaso nas espécies, e isso não as torna transgênicas. Para ser denominado como um **transgênico**, obri-

gatoriamente a molécula de DNA necessita ser **manipulada em laboratório**, com a interferência humana.

O primeiro caso de transgenia ocorreu na década de 1970, em que bactérias *E. coli* receberam o gene humano responsável pela produção de insulina. A partir disso, foi possível sintetizar esse hormônio nos laboratórios, o que foi um avanço significativo para o tratamento de diabetes.

Outro exemplo de transgênico bem conhecido é o de plantas e animais que apresentam o gene da bioluminescência de vaga-lumes. Por meio da técnica do DNA recombinante, o gene que codifica a enzima luciferase, responsável pela luminosidade, foi transferida a outro organismo, permitindo que os organismos que o recebem emitissem luz.

MAKOTO IWAFUJI/EURELIOS / SCIENCE PHOTO LIBRARY / FOTOARENA



Rato transgênico emitindo a bioluminescência.

Existem diversos outros organismos transgênicos encontrados no mundo inteiro, principalmente plantas. No Brasil, a soja Roundup-Ready, produzida pela empresa Monsanto, possui genes de bactérias e vírus que proporcionam à planta resistência ao inseticida Roundup, utilizado na eliminação de ervas daninhas. Com a tolerância a esse herbicida, o agricultor pode utilizar esse produto na plantação de soja sem perdê-la e sem adicionar outros herbicidas.

Do mesmo modo, o milho Bt é capaz de produzir uma toxina originada de bactérias da espécie *Bacillus thuringiensis*, que mata insetos. Outros exemplos são o arroz dourado, que possui genes relacionados com a produção do betacaroteno, precursor da vitamina A, e o tomate FLAVR SAVR, que tem um gene responsável pela produção da enzima poligalacturonase, proporcionando um processo de maturação mais lento e prolongando a vida do fruto. Nesses casos, esses organismos foram modificados com o objetivo de aumentar a produção e reduzir os custos.

LEITURA COMPLEMENTAR

Alimentos transgênicos: prós e contras

Identificar alimentos transgênicos não é muito fácil, uma vez que anatomicamente eles são idênticos aos alimentos naturais. Porém, os alimentos transgênicos apresentam características que promovem melhoria em seu cultivo e também aumentam a produtividade, tais como resistência a pragas, menor necessidade de agrotóxicos, amadurecimento em um prazo maior ou alto valor nutricional.

Embora tenham todos esses benefícios, a produção dos transgênicos ainda gera muitas dúvidas para a comunidade científica, principalmente em relação à saúde humana. Um dos pontos de discussão seria o aparecimento de alergia a longo prazo; entretanto, em mais de uma década de uso, não foi registrado nenhum tipo de dano aos consumidores.

Em relação ao meio ambiente, os transgênicos também são considerados vilões, uma vez que a resistência a pragas pode tornar plantas e animais exóticos mais resistentes, sendo necessário maior uso de agrotóxicos, o que gera desequilíbrio ecológico no ambiente. Além de interferir de maneira incisiva na cadeia alimentar e nas relações ecológicas estabelecidas na região, com a gradual substituição dos naturais por resistentes a insetos, por exemplo, estes podem desaparecer daquele ecossistema, prejudicando seus predadores, que por sua vez ou podem vir a mudar a dieta ou correm o risco de desaparecer.

Outro ponto negativo é que a espécie transgênica, por não ser natural, também perderá ao longo das gerações a variabilidade genética por ter apenas alguns genes de importância econômica selecionados para consumo humano. De acordo com a Organização das Nações Unidas (ONU), os alimentos transgênicos não apresentam riscos para a saúde humana. É possível identificar um produto transgênico a partir da existência de um T dentro de um triângulo amarelo presente na embalagem de alguns produtos comercializados atualmente. No entanto, a Comissão de Meio Ambiente (CMA) do Senado, aprovou, em 2018, o fim da obrigatoriedade do símbolo que indica presença de ingredientes transgênicos nas embalagens de alimentos.

SANTOS, Vanessa Sardinha dos. Alimentos transgênicos. Mundo Educação. Disponível em: <<https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/saude-bem-estar/alimentos-transgenicos.htm>>. Acesso em: fev. 2019. (Adaptado)



Símbolo de alimentos transgênicos.

ROTEIRO DE AULA

BIOTECNOLOGIA

Tecnologia do DNA recombinante

Conjunto de técnicas que permitem

seleção e modificação

de organismos

Engenharia genética

manipulação *in vitro* de DNA

DNA recombinante

molécula de DNA produzida pela união de moléculas de DNA de origens diferente

Enzimas de restrição

atuam como "tesouras" que cortam fragmentos de DNA

Enzimas de ligação

atuam como "colas" inserindo fragmentos de DNA nos vetores

produção de múltiplas cópias de determinado fragmento de DNA

Clonagem gênica

quando os vetores se reproduzem, multiplicam o fragmento

os vetores podem ser

plasmídeos

bacteriófagos

Organismos transgênicos

OGM são

organismos geneticamente modificados

Transgênicos apresentam um ou mais

genes

provenientes de

outros organismos

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. Ufam – A produção industrial de medicamentos, hormônios, vitaminas e vacinas, entre outros, são produtos gerados a partir da

- a) genética.
b) parasitologia.
c) biotecnologia.
d) clonagem.
e) fisiologia.

A biotecnologia é um conjunto de técnicas que permitem a seleção e modificação de organismos, podendo ser utilizados na produção de hormônios, vacinas e diversas outras finalidades.

2. Fuvest-SP (adaptada) – As enzimas de restrição são cruciais nas técnicas de engenharia genética porque permitem

- a) a passagem de DNA através da membrana celular.
b) inibir a síntese de RNA a partir de DNA.
c) inibir a síntese de DNA a partir de RNA.
d) cortar DNA onde ocorrem sequências específicas de bases.

As enzimas de restrição têm como função cortar trechos específicos do DNA para posteriormente ser inseridos nos vetores e poderem ser clonados.

3. Sistema Dom Bosco – A clonagem gênica é uma técnica da engenharia genética importante para o isolamento e produção de diversas cópias de determinado gene e para isso são necessários vetores. Cite os tipos de vetores utilizados nessa técnica e explique por que são utilizados.

A clonagem gênica pode ser realizada utilizando plasmídeos (DNA circular de bactérias) ou bacteriófagos (vírus infectantes de bactérias) como vetores. São usados esses dois vetores uma vez que não interferem na reprodução do indivíduo.

4. EFS-BA – Os transgênicos, ou organismos geneticamente modificados (OGM), são produtos de cruzamentos que jamais aconteceriam na natureza, como, por exemplo, arroz com bactéria. Por meio de um ramo de pesquisa relativamente novo (a engenharia genética), fabricantes de agroquímicos criam sementes resistentes a seus próprios agrotóxicos, ou mesmo sementes que produzem plantas inseticidas. As empresas ganham com isso, mas nós pagamos um preço alto: riscos à saúde e ao ambiente onde se vive.

Considerando-se as informações do texto e com base nos conhecimentos a respeito do tema, analise as afirmativas e marque com V as verdadeiras e com F as falsas.

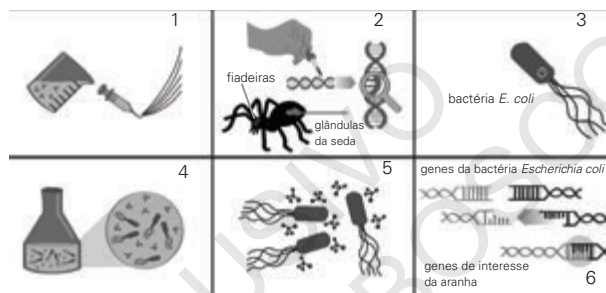
- () O OGM tem seu código genético diferente de um organismo normal, não transgênico.
() A formação de um transgênico é possível por conta da universalidade do código genético.
() A manipulação de um transgênico prescinde de uma discussão ética a respeito das consequências ao ser humano.
() A composição química do gene do doador é diferente daquela observada no material genético do futuro OGM.

A alternativa que contém a sequência correta, de cima para baixo, é:

- a) F - V - V - F**
b) F - F - V - V
c) V - F - F - V
d) V - V - F - F
e) V - F - V - F

A primeira afirmativa está incorreta, porque o código genético é universal, sendo apenas a sequência de nucleotídeos diferente. A última afirmativa está incorreta porque a composição química da molécula de DNA é igual.

5. UPE-PE – A figura a seguir mostra imagens de um experimento utilizando técnicas de recombinante. Observe-a:



O texto a seguir descreve as seis etapas, identificadas com algarismos romanos, do processo de produção do biopolímero, imitando teias de aranha.

- I. Pesquisadores da Embrapa isolaram os genes das glândulas de seda de cinco espécies de aranhas da biodiversidade brasileira.
- II. Por meio de análises moleculares, bioquímicas, biofísicas e mecânicas, estudaram esses genes e suas funções e construíram sequências sintéticas para a produção de fios.
- III. Os genes modificados foram clonados e introduzidos no genoma de bactérias *Escherichia coli*, programadas para atuar como biofábricas.
- IV. As bactérias transgênicas *Escherichia coli* passaram a produzir, em larga escala, as proteínas recombinantes, que formam os fios das aranhas.
- V. O passo seguinte consistiu na extração das proteínas. Para isso, a massa de bactérias foi diluída em meio líquido e purificada para a separação das proteínas do restante do material.
- VI. Com o auxílio de uma seringa, que imita o órgão das aranhas responsável pela fabricação do fio, eles utilizaram as proteínas para produzir os fios sintéticos em laboratório.

Sobre isso, correlacione as etapas citadas no texto com as figuras enumeradas acima e assinale a alternativa que indica a correta correspondência:

- a) I e 1; II e 6; III e 3; IV e 4; V e 5; VI e 2.
b) I e 2; II e 6; III e 3; IV e 5; V e 4; VI e 1.
c) I e 3; II e 2; III e 5; IV e 4; V e 6; VI e 1.
d) I e 4; II e 1; III e 3; IV e 6; V e 5; VI e 2.
e) I e 5; II e 2; III e 3; IV e 4; V e 6; VI e 1.

Etapa 1 – VI. Com o auxílio de uma seringa, que imita o órgão das aranhas responsável pela fabricação do fio, eles utilizaram as proteínas para produzir os fios sintéticos em laboratório. **Etapa 2 – I.** Pesquisadores da Embrapa isolaram os genes das glândulas de seda de cinco espécies de aranhas da biodiversidade brasileira. **Etapa 3 – III.** Os genes modificados foram clonados e introduzidos no genoma de bactérias *Escherichia coli*, programadas para atuar como biofábricas. **Etapa 4 – V.** O passo seguinte consistiu na extração das proteínas. **Etapa 5 – IV.** Para isso, a massa de bactérias foi diluída em meio líquido e purificada para a separação das proteínas do restante do material. **Etapa 6 – II.** As bactérias transgênicas *Escherichia coli* passaram a produzir, em larga escala, as proteínas recombinantes, que formam os fios das aranhas.

6. Sistema Dom Bosco

C8-H29

Existem determinados tipos de enzimas de grande importância para a biotecnologia. Entre elas, há um tipo responsável por inserir o trecho de DNA de interesse no DNA do vetor. Cite o nome dessa enzima e em qual processo ela atua.

Enzima de ligação ou DNA ligase. Essa enzima atua na clonagem gênica.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da biologia para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científicotecnológicas.

Habilidade: Interpretar experimentos ou técnicas que utilizam seres vivos, analisando implicações para o ambiente, a saúde, a produção de alimentos, matérias primas ou produtos industriais.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. Acafe-SC – Biotecnologia é o conjunto de conhecimentos que permitem a utilização de agentes biológicos (organismos, células, organelas, moléculas) para obter bens ou assegurar serviços. Sobre o tema, analise as afirmações a seguir.

- I. As técnicas biotecnológicas possibilitam à Indústria Farmacêutica cultivar microrganismos para produzir os antibióticos, por exemplo.
- II. A engenharia genética ocupa um lugar de destaque como tecnologia inovadora, seja porque permite substituir métodos tradicionais de produção de hormônio de crescimento e insulina, seja porque permite obter produtos inteiramente novos (organismos transgênicos).
- III. Hoje, a utilização de plasmídeos bacterianos restringe-se à produção de novos medicamentos.
- IV. Através de técnicas biotecnológicas é possível o tratamento de despejos sanitários pela ação de microrganismos em fossas sépticas.
- V. A aplicação da biotecnologia está limitada à área médica e de saúde.

Todas as afirmações corretas estão em

- a) I – II – IV.
- b) II – III – IV.
- c) III – IV – V.
- d) IV – V.

8. OBB – As enzimas de restrição são proteínas encontradas normalmente em bactérias que reconhecem uma curta sequência específica de DNA e clivam a dupla fita nesse ponto. Essas enzimas fazem parte de um sistema de defesa contra DNA de fagos, os vírus de bactérias. Com relação a essas clivagens é correto afirmar que criam extremidades

- a) coesivas, com bases não pareadas que tendem a formar ligações covalentes com outros fragmentos de DNA cortados com a mesma enzima.
- b) cegas, que se unem a outras do mesmo tipo pela ação da ligase.
- c) cegas, com bases não pareadas que tendem a parear com ligações de hidrogênio com outros fragmentos de DNA cortados com a mesma enzima.
- d) cegas ou coesivas, tendendo as últimas a parear através de ligações de hidrogênio com extremidades complementares geradas com as mesmas enzimas.
- e) cegas ou coesivas, que ambas tendem a parear através de ligações de hidrogênio com extremidades complementares geradas com as mesmas enzimas.

9. UFSM-RS – Alguns grupos de pesquisa brasileiros estão investigando bactérias resistentes a íons cloreto, como *Thiobacillus prosperus*, para tentar compreender seu mecanismo de resistência no nível genético

e, se possível, futuramente transferir genes relacionados com a resistência a íons cloreto para bactérias não resistentes usadas em biolixiviação (um tipo de biorremediação de efluentes), como *Acidithiobacillus ferrooxidans*. Considerando as principais técnicas utilizadas atualmente em biologia molecular e engenharia genética, a transferência de genes específicos de uma espécie de bactéria para outra deve ser feita através

- a) de cruzamentos entre as duas espécies, produzindo um híbrido resistente a íons cloreto.
- b) da transferência para a bactéria não resistente de um plasmídeo recombinante, que contenha o gene de interesse previamente isolado da bactéria resistente, produzindo um Organismo Geneticamente Modificado (OGM).
- c) da transferência de todo o genoma da bactéria resistente para a nova bactéria, formando uma espécie nova de bactéria em que apenas o gene de interesse será ativado.
- d) da simples clonagem da bactéria resistente, sem a modificação da bactéria suscetível a íons cloreto.
- e) da combinação do genoma inteiro da bactéria suscetível com o genoma da bactéria resistente, formando um organismo quimérico, o que representa uma técnica muito simples em organismos sem parede celular, como as bactérias.

10. Sistema Dom Bosco – Com base nas técnicas de biotecnologia, atualmente é possível criar organismos geneticamente modificados e organismos transgênicos. Explique qual a diferença entre esses dois organismos manipulados geneticamente.

11. OBB – A clonagem molecular consiste no isolamento e propagação de moléculas de DNA idênticas e compreende pelo menos dois estágios importantes. Primeiro, o fragmento de DNA de interesse, chamado de inserto, é ligado a outra molécula de DNA, chamada de vetor, para formar o que se chama de DNA recombinante. Segundo, a molécula do DNA recombinante é introduzida numa célula hospedeira compatível, num processo chamado de transformação. A construção de moléculas de DNA recombinante foi possível graças à descoberta das enzimas de restrição (ou endonucleases de restrição), que são proteínas que têm a capacidade

de reconhecer, na dupla hélice do DNA, sítios de clivagem, ou seja, sequências específicas de 4 ou 6 bases. Uma vez reconhecido, é realizado um corte específico em cada ponto ou sítio em que as moléculas da enzima se ligam. As enzimas de restrição são divididas em várias classes, dependendo da estrutura, da atividade e dos sítios de reconhecimento e clivagem.

Uma das funções de um vetor nos procedimentos de uma clonagem gênica é

- realizar atividade similar à das enzimas de restrição.
- neutralizar as cargas dos nucleotídeos do DNA.
- inibir a expressão do gene que foi nele inserido.
- transportar o gene de interesse para o interior de uma célula hospedeira.

12. UFC-CE (adaptada) – As enzimas de restrição apresentam como principal propriedade cortar o DNA em regiões específicas. O papel biológico dessas enzimas na natureza é

- proteger as bactérias contra os vírus.
- reparar o DNA bacteriano que sofreu mutação deletéria.
- auxiliar no processo de duplicação do DNA.
- auxiliar na transcrição.
- auxiliar na síntese de proteínas.

13. Cefet-MG – Alguns vírus têm sido usados em lavouras de soja como um agente de controle biológico específico contra lagartas. Recentemente foram identificadas as proteínas produzidas por esses vírus e os genes realmente ativos durante a infecção desses insetos.

A identificação desses genes constitui uma importante ferramenta para a

- elaboração de um parasita inofensivo para a planta.
- minimização dos danos ecológicos causados pelo vírus.
- criação de linhagem de soja transgênica resistente à lagarta.
- preservação do inseto polinizador da planta na fase adulta.
- geração de uma vacina para proteger a planta das infecções.

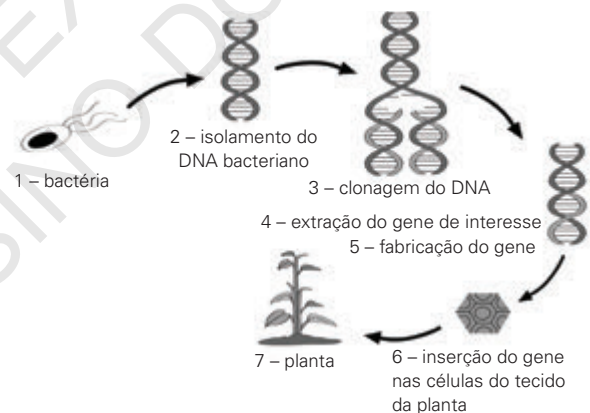
14. Sistema Dom Bosco – A clonagem é uma técnica amplamente utilizada na produção de múltiplas cópias de um ou mais genes em questão, podendo ser utilizada, inclusive, na produção de organismos transgênicos. Explique como é realizado esse processo.

15. UFPA – Plantas transgênicas podem ser produzidas com a utilização da técnica de DNA recombinante. Assim, uma variedade de arroz pode ser produzida a partir da manipulação do arroz original, com a transfecção, para este, do DNA de interesse a fim de produzir, por exemplo, betacaroteno, o precursor da vitamina A, retirado de outro organismo de espécie diferente.

O arroz transgênico *golden rice* passará a manifestar a presença de betacaroteno porque

- o RNA mensageiro sintetizado a partir do DNA recombinante será traduzido pelas células do vegetal.
- ocorrerá duplicação do DNA transferido, que só então será incorporado ao genoma hospedeiro.
- ocorrerá transcrição do RNA transportador a partir do DNA transferido.
- proteínas serão sintetizadas a partir do DNA não hibridizado.
- ocorrerá síntese de carboidratos a partir da ativação do DNA do vegetal original.

16. Enem (adaptada) – Em um laboratório de genética experimental, observou-se que determinada bactéria continha um gene que conferia resistência a pragas específicas de plantas. Em vista disso, os pesquisadores procederam de acordo com a figura.



Do ponto de vista biotecnológico, como a planta representada na figura é classificada?

- Clone
- Híbrida
- Mutante
- Adaptada
- Transgênica

17. Sistema Dom Bosco – Um dos grandes *insights* da engenharia genética foi a produção de organismos transgênicos usados na alimentação dos seres vivos. Cite uma vantagem e uma desvantagem na produção de organismos transgênicos.



GETTY IMAGES/ISTOCKPHOTO

MATERIA DE LINGUAGEM
SISTEMA DE ENSINO SUPERIOR

BIOLOGIA 2A

CIÊNCIAS DA NATUREZA E SUAS TECNOLOGIAS



- Poríferos
- Cnidários

HABILIDADES

- Identificar padrões em fenômenos e processos vitais dos organismos, como manutenção do equilíbrio interno, defesa e relações com o ambiente.
- Reconhecer características que possibilitam a inclusão de poríferos e cnidários no reino Animalia.
- Comparar as características dos organismos que constituem os dois filos, relacionando aspectos morfológicos e fisiológicos.

PORÍFEROS E CNIDÁRIOS

Os animais são organismos eucariotos, multicelulares e heterotróficos. A novidade evolutiva compartilhada por todos eles é a blástula, estágio do desenvolvimento embrionário que consiste em um conjunto de células organizadas em torno de uma cavidade preenchida por fluido, com formato de uma bola.

Evidências bioquímicas fósseis e estudos de datação genética indicam que os poríferos foram os primeiros animais surgidos, há cerca de 750 milhões de anos, provavelmente derivados de ancestrais similares aos coanoflagelados coloniais. As células flageladas dos poríferos (coanócitos) são uma forte evidência desse parentesco.



SERGEUWPHOTO/ISTOCK

Esponja (leuconóide) gigante em forma de barril. Parque Nacional da Indonésia.

Atualmente são conhecidas cerca de 1 200 000 espécies de animais, que são classificadas em aproximadamente 35 filos. Contudo, a estimativa dos especialistas é que existam entre 20 milhões e 30 milhões de espécies animais na Terra, o que significa que a maior parte da biodiversidade animal ainda é desconhecida pela ciência.

Uma vez que as mudanças ambientais promovidas pela humanidade — poluição, destruição e redução dos ecossistemas e mudanças climáticas — têm se intensificado nas últimas décadas, cientistas preveem que grande parte da biodiversidade planetária deverá ser extinta antes mesmo de ser conhecida.

Entre os organismos mais ameaçados de extinção do planeta, estão os corais, organismos pertencentes ao filo dos cnidários, que, com as esponjas, estão entre os primeiros grupos a surgir ao longo da evolução dos animais. Para se ter uma ideia de sua diversidade, embora ocupem menos de 1% do leito marinho, estima-se que os corais forneçam hábitat para cerca de um milhão de espécies, incluindo 25% dos peixes do mundo. Isso significa que uma em cada quatro espécies marinhas vive nos recifes de corais.

Neste módulo estudaremos os animais pertencentes ao filo dos poríferos e dos cnidários.

PORÍFEROS

Também conhecidos por esponjas, formam o filo Porifera (do latim *porus*, poro; e *fera*, portador de). Entre as cerca de 9 mil espécies de esponjas atualmente conhecidas, existem representantes com diversos formatos e tamanhos que variam de 1 mm a 2 m de diâmetro e podem apresentar coloração bastante variada (cinza, pardo, vermelho, alaranjado e azul).

JOLANTA WOJCICKA



RATTIVA THONGDUMHYU



JOLANTA WOJCICKA

Diversidade de coloração observada entre algumas esponjas.

Vivem isoladas, mas também há espécies que formam colônias com grande número de indivíduos. Quase todas são marinhas e possuem ampla distribuição geográfica. Existem somente duas famílias de água doce, com pouco mais de 100 espécies vivendo nesse habitat. Algumas espécies de poríferos ficaram muito conhecidas na Antiguidade pelo uso econômico, como as esponjas de banho, com seus delicados esqueletos. Assim, o termo **esponja** passou a ser aplicado informalmente para todos os poríferos, embora nem todas as espécies possuam esqueletos flexíveis e delicados.

Entre os Metazoa ou reino Animalia, os poríferos são os únicos animais multicelulares que não apresentam tecidos verdadeiros, portanto órgãos e sistemas estão ausentes.

Os principais meios de defesa das esponjas contra predadores são o mecânico (espículas) e o químico (biotoxinas). Algumas espécies produzem substâncias químicas que são usadas tanto na defesa contra predação quanto na competição por espaço. Muitas espécies são estudadas na área farmacológica por produzirem substâncias com atividade anti-inflamatória, anticancerígena e antimicrobiana, como a esponja *Cryptotethya crypta*, que fabrica um composto usado como princípio ativo no combate ao vírus da herpes humana.



JOAO CARRARO/ISTOCK

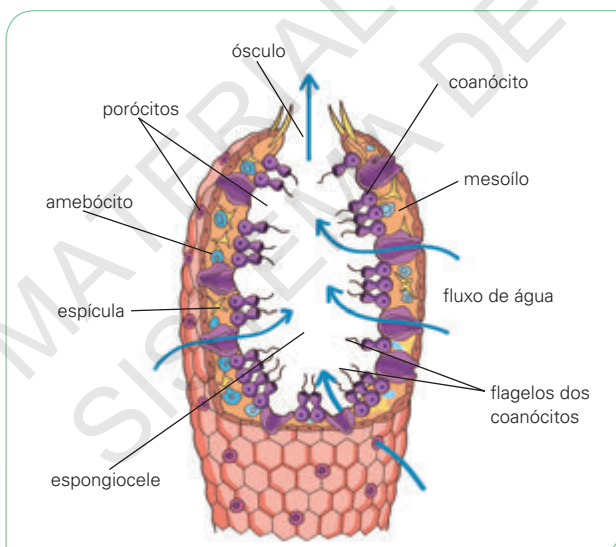
Principal coral encontrado na costa brasileira, gênero *Mussismilia*.

CARACTERÍSTICAS GERAIS

Os poríferos vivem sempre fixos a um substrato (formas sésseis). A maioria das esponjas tem o corpo em forma de um pequeno barril ou tubo, cheio de furos. Através de inúmeros **poros** (ou **óstios**) na parede externa do corpo, a água entra no organismo, que é organizado ao redor de um sistema interno de fluxo de água, o que assegura a obtenção de alimento e oxigênio.

A maioria das espécies é assimétrica, mas algumas podem ter simetria radial. O corpo de uma esponja consiste em duas camadas de células separadas por uma matriz gelatinosa chamada de **mesoilo**. Uma vez que ambas as camadas de células estão em contato com a água, os processos como a troca gasosa e a remoção de resíduos podem ocorrer por difusão simples através das membranas dessas células. A água é drenada pelos poros em uma cavidade central, e então flui para fora da esponja por meio de uma grande abertura no ápice do animal chamada de **óstulo**. As esponjas mais complexas têm paredes do corpo pregueadas, e muitas têm canais de água ramificados e vários óstulos.

A parede externa do corpo das esponjas é formada por uma camada de células achatadas e bem unidas entre si chamadas **pinacócitos**. Os inúmeros poros na parede do corpo consistem em um tipo especial de célula chamada **porócito**, com a forma de um tubo perfurado, que se estende do exterior até uma cavidade interna do corpo chamada **átrio** ou **espongiocele**. A espongiocele é revestida por uma camada de células flageladas, os **coanócitos**, que forma a parede interna do corpo. Os coanócitos são os responsáveis pela circulação e pelo fluxo de água e pela obtenção de alimento.



Estrutura típica de uma esponja asconoide com as principais células dos poríferos. As setas azuis indicam o caminho do fluxo de água. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Fonte: REECE et al. *Biologia de Campbell*. 10. ed. São Paulo: Artmed, 2015. p. 684. (Adaptado)

No mesoilo são encontradas células chamadas **amebócitos** e os **elementos de sustentação** esquelética das esponjas. Os amebócitos são células ameboides totipotentes capazes de originar todos os outros tipos de células das esponjas.

Os elementos de sustentação são formados por **espículas** e/ou fibras proteicas. As espículas são estruturas minerais microscópicas de formato variado constituídas por sílica ou por carbonato de cálcio (calcárias) e produzidas pelos **escleroblastos**. As fibras proteicas são compostas de uma proteína similar ao colágeno, a **espongina**, que é secretada pelos **espongioblastos**. Escleroblastos e espongioblastos são células originadas da diferenciação de amebócitos.

SCIENCE PHOTO LIBRARY
DC/LATINSTOCK



Espículas de sílica observada em eletromicrografia de varredura. Cores fantasia.



SCIENCE PHOTO LIBRARY
DC/LATINSTOCK

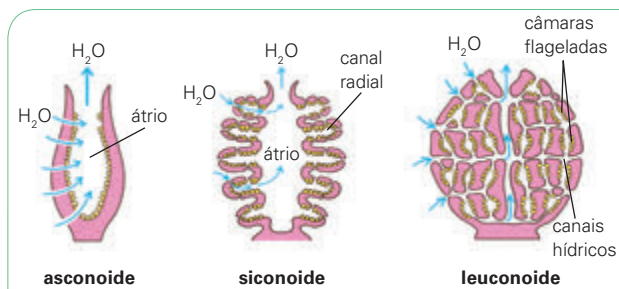
Algumas esponjas não possuem espículas como elementos esqueléticos, mas apenas uma rede de espongina espalhada por todo o mesoilo. Há esponjas que possuem tanto espículas quanto fibras de espongina constituindo o material de sustentação de seu corpo.

TIPOS MORFOLÓGICOS E CLASSIFICAÇÃO

São encontrados três tipos básicos de organização morfológica entre as esponjas: **áscon** ou **asconoide**, **sícon** ou **siconoide**, e **lêucon** ou **leuconoide**.

- **Asconoide**: possui estrutura corporal mais simples e é similar a um vaso ou tubo. O volume de sua cavidade, a espongiocele, é maior em relação à área revestida por coanócitos, o que reduz a velocidade do fluxo de água pela esponja. São espécies com tamanho de alguns poucos centímetros.
- **Siconoide**: a parede do corpo apresenta “dobramentos” que formam vários tubos radiais, cada um com um canal radial revestido internamente por coanócitos. A área recoberta pelos coanócitos é maior em relação ao volume da espongiocele, o que torna o fluxo de água mais rápido em relação às esponjas asconoides.
- **Leuconoides**: são as formas mais complexas. A parede do corpo apresenta um padrão de dobramentos que formam câmaras internas revestidas por coanócitos (câmaras flageladas) que são interconectadas por canais hídricos. Nas esponjas leuconoides, a espongiocele está reduzida ao canal hídrico. Esse padrão corporal proporciona um

fluxo mais rápido e mais eficiente na circulação interna de água, o que permite que as esponjas leuconoides alcancem tamanhos bem maiores que as asconoides e siconoides. A grande maioria das esponjas tem a forma leuconoide.



Padrões morfológicos dos poríferos. As setas azuis indicam o caminho do fluxo de água pela esponja. Os coanócitos estão representados em amarelo. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Fonte: LOPES, Sônia; ROSSO, Sergio. *Bio. 2. ed.* São Paulo: Saraiva, 2013. p. 189. v. 3.

Os poríferos são classificados em três grandes grupos ou classes, com base principalmente na composição de seus esqueletos internos. São elas:

- **Calcarea:** todos os indivíduos são representantes marinhos; a maioria possui tamanho pequeno (poucos centímetros) e formas tubulares. Têm esqueleto formado por espículas calcárias (carbonato de cálcio).
- **Hexactinellida** (esponjas-de-vidro): poríferos exclusivamente marinhos; a maioria possui tamanho entre 10 cm e 30 cm e forma cilíndrica. O esqueleto é formado por espículas silicosas (óxido de sílica) geralmente com seis raios. São abundantes na Antártida.
- **Demospongiae:** compreende cerca de 90% das espécies de poríferos. A maioria é marinha, mas também há espécies de água doce. O tamanho é variado, desde 2 mm até alguns metros. O esqueleto é constituído de espículas silicosas, de fibras de espongina ou por esses dois componentes.

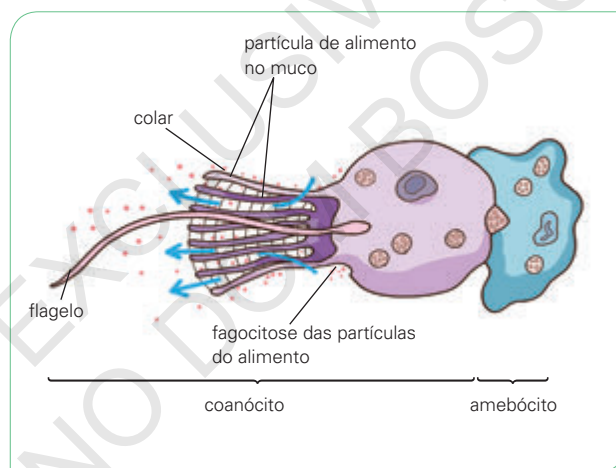


Esponja marinha da classe Demospongiae.

FISIOLOGIA

As esponjas dependem fundamentalmente do fluxo de água que passa por seu corpo para obter partículas alimentares e oxigênio e eliminar excretas e gás carbônico, por isso são consideradas **organismos filtradores** e possuem **digestão intracelular**.

Por meio do fluxo de água criado pelo batimento dos flagelos, os coanócitos realizam a filtração das partículas que ficam retidas no muco produzido pelo colar (expansão da membrana celular em torno do flagelo) e são ingeridas por fagocitose. A digestão é intracelular e se dá dos coanócitos para os amebócitos, que se deslocam pelo mesoilo e realizam a distribuição de nutrientes e outras substâncias para as outras células por **difusão simples**.



Detalhe da morfologia do coanócito e do amebócito. Digestão intracelular das esponjas ocorre, parcialmente, no coanócito. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Fonte: REECE et al. *Biologia de Campbell*. 10. ed. São Paulo: Artmed, 2015. p. 684. (Adaptado)

As trocas gasosas — obtenção de O_2 e eliminação de CO_2 — e a eliminação de resíduos metabólicos também ocorrem por difusão simples. O papel do sistema circulatório é parcialmente executado pela cavidade interna e também pelos amebócitos, que se deslocam pelo mesoilo, auxiliando na distribuição de nutrientes e outras substâncias.

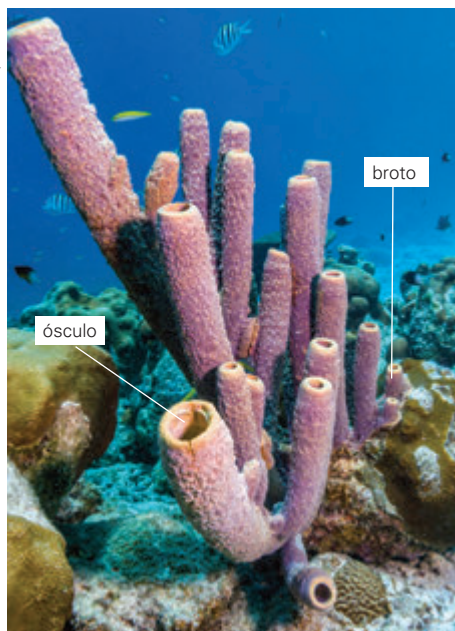
Os poríferos não possuem sistema nervoso, de modo que um estímulo não é transmitido para outras partes do corpo. No entanto, um estímulo pode promover uma **resposta local**, como o fechamento do ósculo.

REPRODUÇÃO

Entre as esponjas, ocorrem reproduções assexuada e sexuada.

Reprodução assexuada

A maioria das esponjas realiza reprodução assexuada por **brotamento**, em que expansões na parede do corpo formam brotos que crescem e, posteriormente, desprendem-se do corpo da esponja parental, originando um novo indivíduo. Em espécies coloniais, o novo indivíduo formado permanece ligado ao corpo da esponja parental.



Esponja tubular, em que se veem novos indivíduos formados por brotamento.

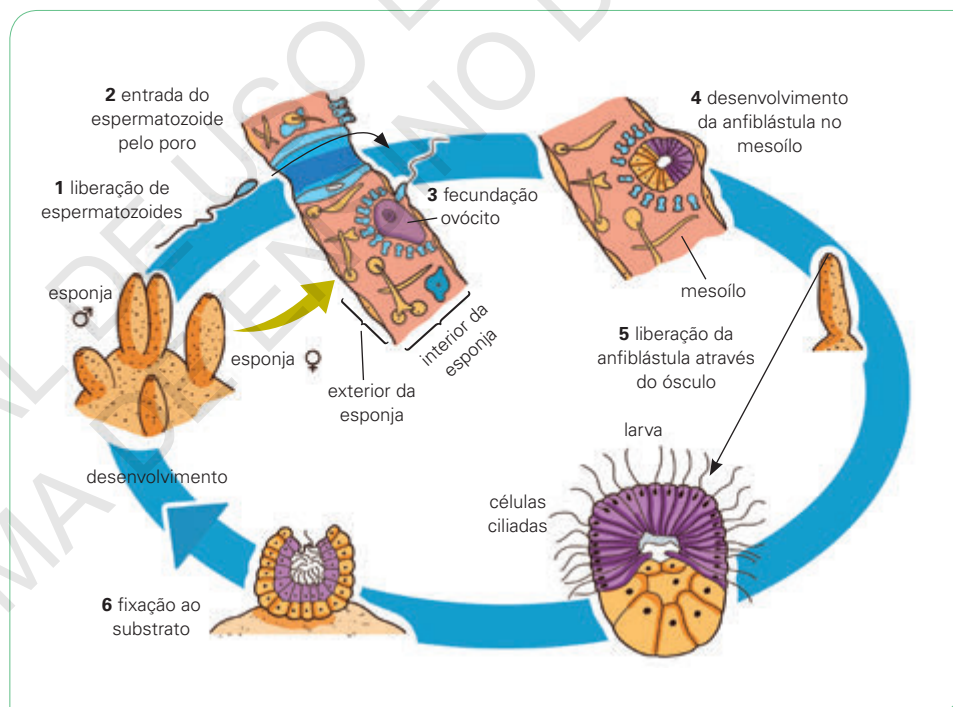
Algumas espécies de água doce se reproduzem assexuadamente por meio das **gêmulas**, estruturas resistentes produzidas durante condições ambientais desfavoráveis, como períodos de seca ou frio extremos. Com a morte, o corpo da esponja degenera-se, liberando as gêmulas, no interior das quais há vários amebócitos, que se mantêm em baixa atividade metabólica, até que as condições ambientais voltem a ficar favoráveis. Quando isso ocorre, os amebócitos retomam à sua atividade metabólica, diferenciando-se em outros tipos de células e dando origem a novas esponjas.

As esponjas apresentam elevada capacidade de regeneração, podendo formar uma nova esponja a partir de um pequeno pedaço do corpo de um indivíduo. Essa grande capacidade de regeneração deve-se às suas células totipotentes, os amebócitos.

Reprodução sexuada

A maioria das espécies é monoica ou hermafrodita, embora também existam espécies dioicas. Enquanto os espermatozoides são liberados na água, deixando a esponja parental pelo fluxo de água que sai pelo ósculo, os ovócitos geralmente permanecem no mesoilo da esponja em que foram produzidos, local onde ocorrem a fecundação e o desenvolvimento do zigoto. Após a blástula, é formada uma larva livre-natante (anfiblástula), que deixa o indivíduo

parental, fixa-se a um substrato e origina uma esponja adulta. Assim, a reprodução sexuada da maioria das esponjas ocorre pela **fecundação interna**, com **desenvolvimento indireto**.



Representação esquemática da reprodução sexuada em poríferos. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Fonte: AMABIS, José M.; MARTHO, Gilberto R. *Biologia*. 3. ed. São Paulo: Moderna, 2010. p. 205. v. 2.

CNIDÁRIOS

Os cnidários, anteriormente chamados de celenterados, são os primeiros animais a possuir uma cavidade com função digestiva, por isso são denominados **enterozoários** (*enteron* = intestino; *zoo* = animal). A palavra **cnidário** vem do grego *knide*, que significa urtiga, e está associada a uma substância urticante presente em uma célula exclusiva desse grupo, os **cnidócitos**.

Estudos moleculares sugerem que os cnidários surgiram há cerca de 680 milhões de anos. Atualmente, são conhecidas aproximadamente 10 mil espécies. Entre as novidades evolutivas dos poríferos, estão o surgimento de **tecidos verdadeiros (animais diblásticos)**, um tubo ou **cavidade digestória** (incompleta) e **sistema nervoso**.

A grande maioria das espécies vive em ambiente marinho, mas existem alguns poucos representantes de água doce. Há duas formas corporais básicas entre os cnidários, a **medusa** (livre-natante) e o **pólipo** (fixas ou sedentárias).

GILMANSHIN



Forma livre-natante (medusa), *Aurelia aurita*.

As medusas estão entre os cnidários mais conhecidos. São popularmente chamadas de água-viva (*Aurelia aurita*), sendo responsáveis por numerosos casos de queimaduras em banhistas em todo o mundo. Seu corpo contém mais de 95% de água, o que explica o nome popular.

Muitos cnidários formam colônias gigantescas, a exemplo dos corais, formadas por grande quantidade de animais fixos, que crescem e se desenvolvem uns sobre os outros. Nos recifes há vasta diversidade de vida marinha. As algas crescem sobre eles e também podem viver em endossimbiose com os corais, sendo protegidas, desse modo, de ataque de predadores e fornecendo parte da nutrição que os corais precisam por meio da fotossíntese. As mudanças climáticas e a poluição dos oceanos estão levando ao branqueamento de corais por todo o globo, fenômeno resultante da perda das algas endossimbiontes e que tem como consequência a morte das colônias de corais.

SCIENCE PHOTO LIBRARY DC / LATINSTOCK



Vista aérea da Grande Barreira de Coral, maior recife de coral do mundo, que se estende por mais de 2300 quilômetros na costa australiana.

CARACTERÍSTICAS GERAIS

A medusa e o pólipo representam diferentes formas de cnidários quanto à sua morfologia externa básica. No entanto, ambas as formas possuem a mesma organização corporal interna. Os cnidários têm um plano corporal de **simetria radial**, o que significa que as partes do corpo estão dispostas ao redor de um eixo central, como os raios da roda de uma bicicleta.

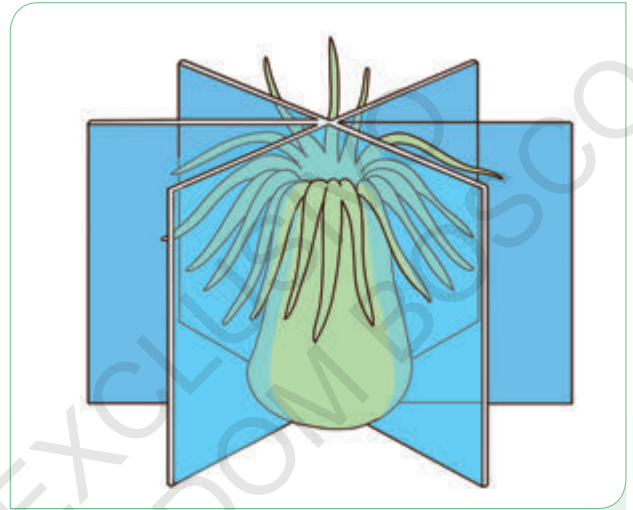
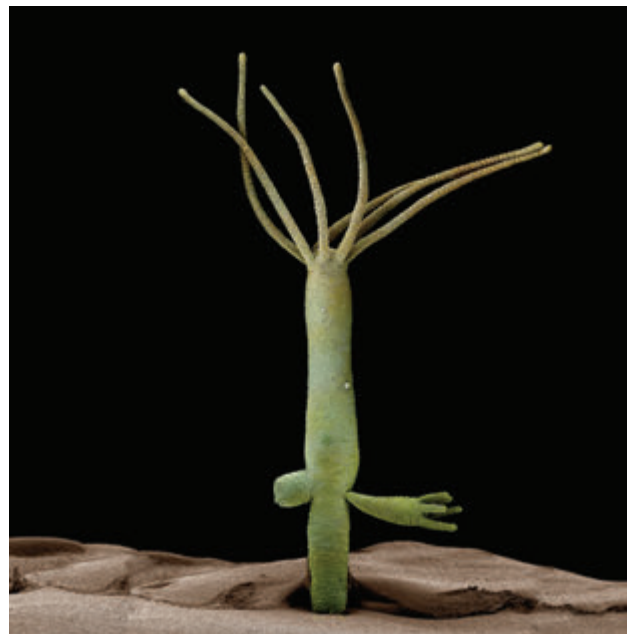


Ilustração da simetria radial da anêmona-do-mar. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Os pólipos, em geral, são fixos (sésseis) ou sedentários. O corpo cilíndrico do pólipo tem uma extremidade superior livre onde fica a boca (rodeada pelos tentáculos), e a extremidade oposta fica em contato com o substrato ou fixa a ele. As medusas têm o corpo mole e gelatinoso com a forma de guarda-chuva (*umbrela*), ou de sino, com a boca e os tentáculos voltados para baixo, em direção ao substrato.



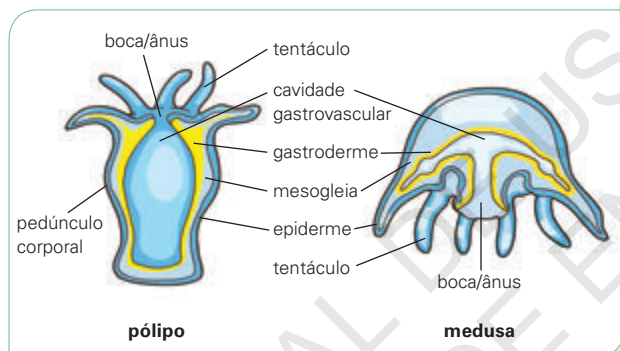
Forma fixa (pólipo) de *Hydra viridis*, espécie de água doce, formando novos indivíduos por brotamento. Micrografia eletrônica de varredura. Cores fantasia.

SCIENCE PHOTO LIBRARY DC / LATINSTOCK

Estruturas do corpo

A parede do corpo dos cnidários constitui-se de **epiderme** (camada externa) e **gastroderme** (camada interna). Entre as duas camadas fica a **mesogleia** — camada gelatinosa onde as células nervosas formam o **sistema nervoso difuso** (não centralizado), não havendo áreas de concentração de neurônios. Os cnidários possuem numerosas estruturas sensoriais, como estatocistos e ocelos. Os estatocistos relacionam-se ao equilíbrio do organismo, auxiliando na inclinação do corpo, enquanto os ocelos são estruturas fotorreceptoras, mas não há a formação de imagens. Na epiderme e na gastroderme estão presentes células epitelio-musculares, ou seja, células contráteis.

O corpo dos cnidários contém a cavidade gastrovascular (ou celêntero), onde o alimento é parcialmente digerido por enzimas digestivas secretadas pelas células da gastroderme. Assim, o processo de digestão inicia-se extracelularmente e se completa no interior das células da gastroderme (**digestão extracelular e intracelular**). A cavidade gastrovascular comunica-se com o exterior por meio de um único orifício, a boca (**enterozoários incompletos**), que também é usada para a eliminação dos resíduos alimentares. Os sistemas respiratório, circulatório e excretório estão ausentes nos cnidários.



Cnidários com forma de pólipo e medusa. A parede do corpo de um cnidário é formada por uma camada externa de epiderme (azul-escuro) e uma camada interna de gastroderme (amarelo). Entre a epiderme e a gastroderme há uma camada gelatinosa, a mesogleia. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Fonte: REECE et al. *Biologia de Campbell*. 10. ed. São Paulo: Artmed, 2015. p. 685.

Ao redor da boca, os cnidários possuem tentáculos, que são expansões corporais utilizadas na captura dos alimentos e para levar o alimento até a boca. Na epiderme dos tentáculos, há um grande número de cnidócitos.

Locomoção

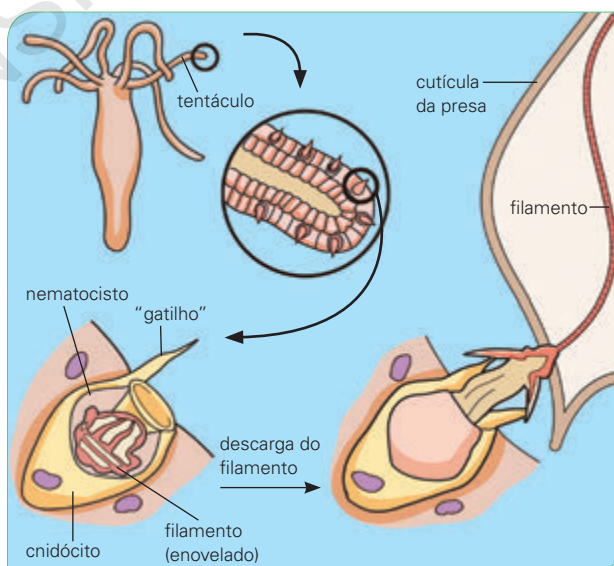
Medusas locomovem-se por contração do corpo e expulsão de jatos de água (jato-propulsão). Apesar de a maioria dos pólipos ser fixa, algumas formas polípodas podem soltar-se do substrato e “nadar”, deslizando sobre o substrato por meio de contrações para frente e para trás do corpo, como as anêmonas-do-mar, ou realizando movimentos similares a “cambalhotas”, como as hidras.



Medusa (*Pelagia noctiluca*) nadando.

Estrutura de defesa

No interior dos cnidócitos, há uma estrutura chamada nematocisto, uma cápsula que contém um filamento enrolado. Uma vez que o cnidócilio, pequeno esporão localizado na superfície do **nematocisto**, é ativado por contato, o filamento dentro da cápsula é projetado para fora com um arpão. Junto do filamento há uma substância tóxica que imobiliza a presa ou afugenta o predador. A maior parte dos cnidócitos está concentrada na epiderme em torno dos tentáculos.



Esquema representando a estrutura dos cnidócitos presentes na epiderme dos tentáculos dos cnidários. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Fonte: REECE et al. *Biologia de Campbell*. 10. ed. São Paulo: Artmed, 2015. p. 686.

CLASSIFICAÇÃO

Atualmente são reconhecidas cinco classes de cnidários: hidrozoários, cifozoários, antozoários, cubozoários e estaurozoários.

Classe Hydrozoa

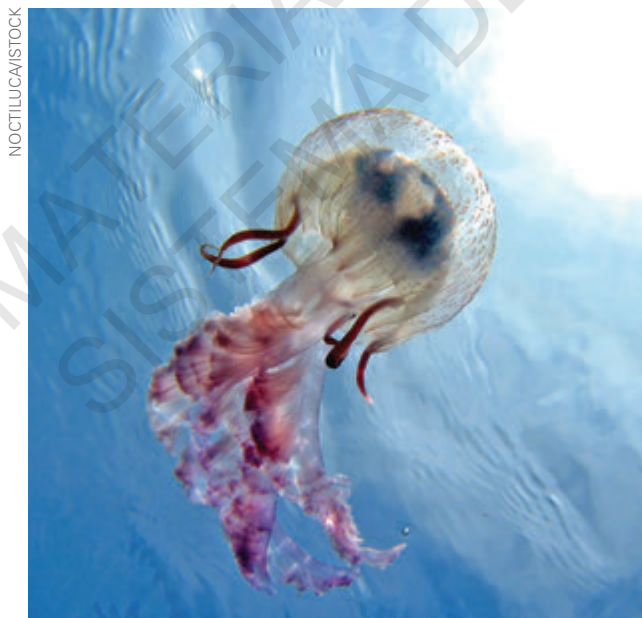
Nesta classe enquadram-se hidrozoários solitários e coloniais, de água doce ou marinhos. A colônia tem formas do tipo medusa e pólipo. Vivem de maneira integrada, de modo que os indivíduos têm nítida divisão de trabalho, mas agem como se fossem um só. Uma colônia pode ter até mil zooides. Nesta classe predomina a forma de pólipo, e a forma de medusa pode estar ausente do ciclo de vida. Os indivíduos na forma polipoide se reproduzem assexuadamente e os de forma medusoide de forma sexuada. Entre os mais conhecidos estão as espécies dos gêneros *Hydra*, *Obelia*, *Physalia* e *Tubularia*.



Caravela do gênero *Physalia* formada por uma colônia de cnidários. Cada colônia tem formas do tipo medusa e pólipo. Os indivíduos estão integrados e têm nítida divisão de trabalho, mas agem como se fossem um só. Uma colônia pode ter até mil zooides.

Classe Schiphozoa

Animais dessa classe são marinhos, predominando a forma de medusa; a de pólipo está ausente ou reduzida. Os gêneros mais conhecidos são: *Aurelia* (água-viva), *Cyanea*, *Pelagia* e *Cassiopeia*.



Medusa do grupo dos cifozoários da espécie *Pelagia noctiluca*.

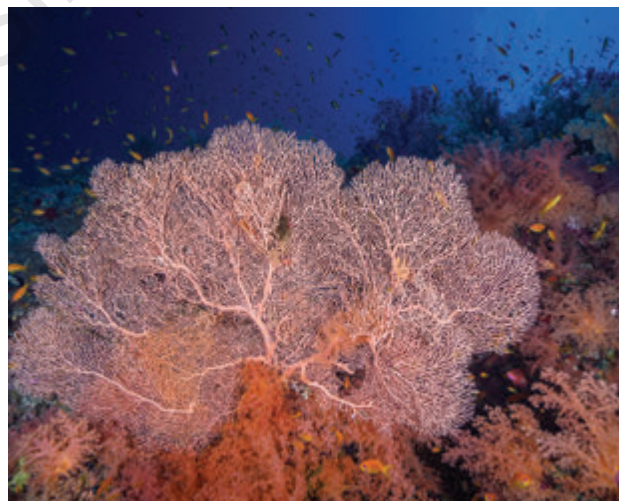
Classe Anthozoa

Nesta classe, não há fase medusoide, só formas polipoides. São todos marinhos e encontrados em águas profundas e rasas. Vivem isolados, como a actínia (anêmona-do-mar), ou em colônias, como os corais.



Anêmona-do-mar solitária, gênero *Stomphia* (subclasse Hexacorallia).

A classe Anthozoa compreende três subclasses: Octocorallia (representados pelos corais moles e gorgônias) Hexacorallia (que compreende o grupo das anêmonas e corais duros) e Ceriantipatharia (grupo no qual se incluem os corais negros).

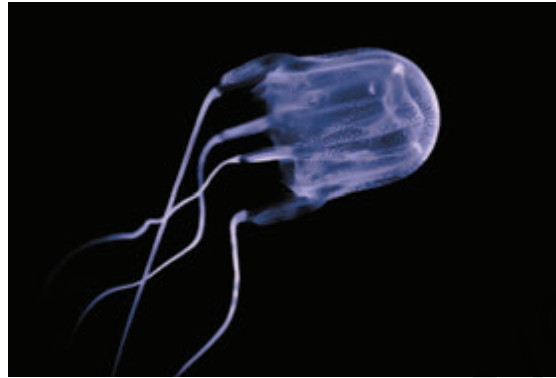


Coral popularmente conhecido como gorgônia (subclasse Octocorallia). A estrutura de uma gorgônia é formada por milhões de pólipos. As colônias podem atingir mais de 1 m de altura e apresentar coloração bastante variada (branca, rosa, salmão, laranja, vermelha).

Classe Cubozoa

Os cubozoários, conhecidos anteriormente como cifozoários, formam um grupo de espécies marinhas com forma predominante de medusa. O sino tem a forma aproximada de um cubo. Entre seus representantes estão as medusas do gênero *Carybdea* e a vespa-do-mar, *Chironex fleckeri*. Esta é encontrada em praias tropicais e é abundante nos oceanos Índico e Pacífico

ocidentais. Seus cnidócitos são altamente tóxicos (toxina actinocongestina), e algumas espécies podem ser fatais para humanos.



Medusa do gênero *Carybdea* (classe Cubozoa).

Classe Staurozoa

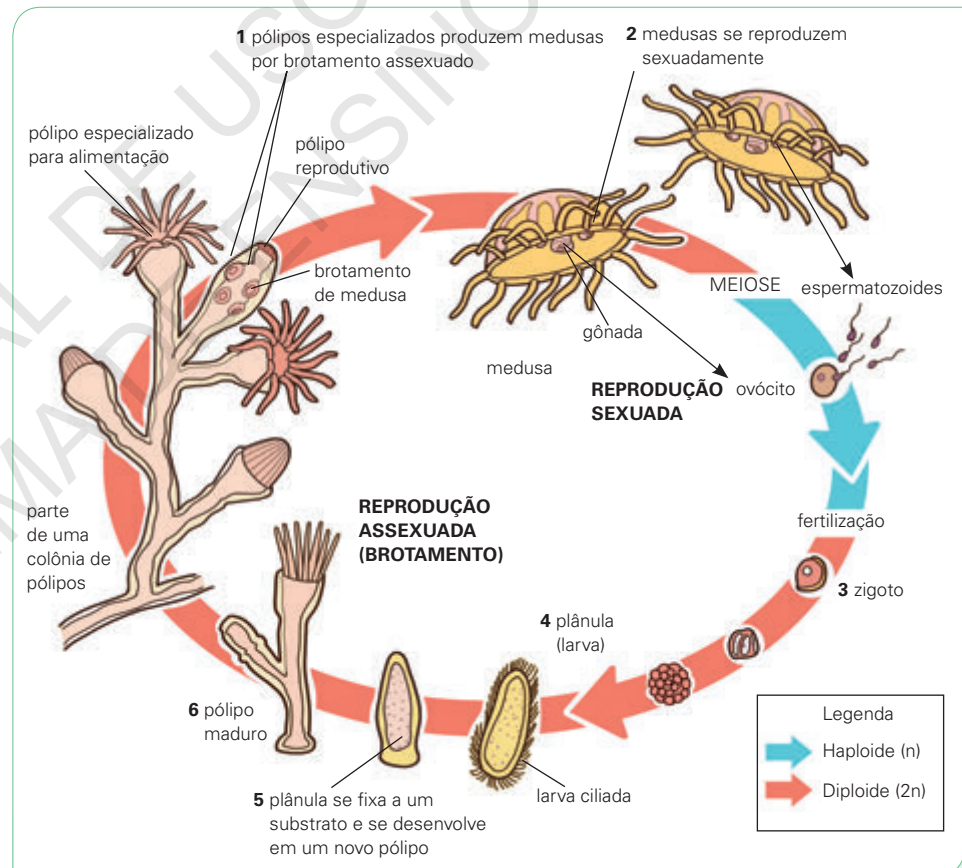
Os estaurozoários são animais marinhos pequenos (menos de 5 cm) que vivem em águas profundas e frias. São todos solitários e passam a vida fixos a um substrato. Apresentam apenas a forma polipoide; não há fase de medusa.

REPRODUÇÃO

Cnidários exibem padrões sexuais e assexuais de reprodução.

Reprodução assexuada

Ocorre por brotamento ou estrobilização. As hidras reproduzem-se principalmente dessa forma. O brotamento gera uma cópia genética idêntica parental.



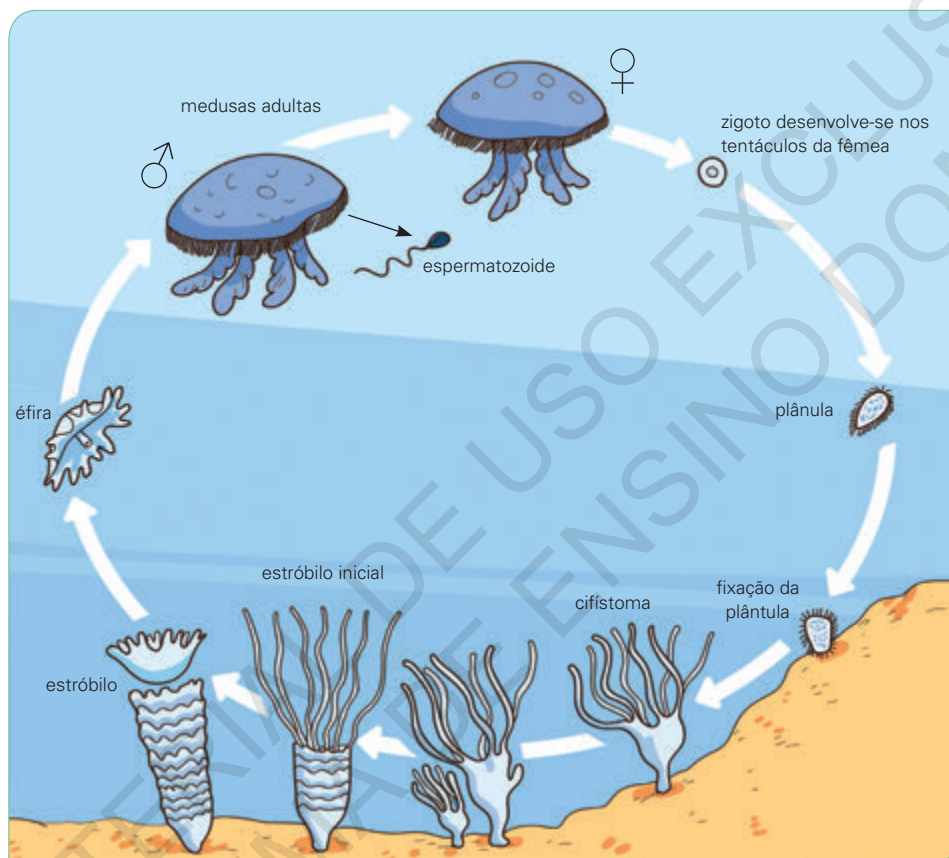
Ciclo de vida do hidrozoário *Obelia* sp. em que estão representadas tanto a fase assexuada como sexual. O pólipos reproduz-se assexuadamente por brotamento. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

As imensas colônias de antozoários, como os formadores dos recifes de corais, também se originam por brotamento. A diferença no brotamento dos corais é que os descendentes não se desprendem dos indivíduos parentais; assim, a colônia cresce continuamente.

Cnidários têm grande capacidade de regeneração. Cada parte de uma hidra cortada ao meio se regenera completamente e forma uma nova hidra.

Reprodução sexuada

Em sua maioria, os cnidários são dioicos. A fecundação pode ser externa ou interna, e na maioria das espécies o desenvolvimento é indireto (formação da larva plânula). Nos grupos Hidrozoa e Schiphozoa, ocorre a metagênese (alternância de gerações), em que as formas medusoides produzem os gametas e, após a fecundação, o zigoto origina a plânula, larva ciliada que se fixa a um substrato e se desenvolve em um pólip. Nos cifozoários o pólip segmenta-se por estrobilização (forma de reprodução assexuada), originando as éfiras (medusas imaturas), que crescem e se tornam medusas adultas. Na classe Anthozoa, não há metagênese.



Ciclo de vida do cifozoário *Aurelia* sp. ilustrando a metagênese ou alternância de gerações. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Fonte: HICKMAN et al. *Princípios integrados de Zoologia*. 16. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2016. (Adaptado)

ROTEIRO DE AULA

METAZOA

Poríferos

Características gerais

Não apresentam tecidos verdadeiros

Tipos morfológicos

asconoide

siconoide

leuconoide

Células especializadas

coanócitos

pinacócitos

porócitos

amebócitos

Fisiologia

Trocas gasosas, circulação e excreção

difusão simples

Digestão

intracelular

Classificação

Calcarea

espículas calcárias

Hexactinellida

espículas silicosas

Demospongiae

espículas silicosas, fibras de espongina, ou ambas

ROTEIRO DE AULA

CNIDÁRIOS

Características gerais

Diblásticos

Simetria

radial

Alimentação e defesa

cnidoblastos

Tipos morfológicos

Pólipos

Medusas

Fisiologia

Digestão

extra e intracelular

Trocas gasosas e excreção

difusão simples

Sistema nervoso

difuso

Tipos celulares

Cnidoblastos

células com veneno

Epiteliomuscular, epidérmicas, digestivas

sensoriais

glandulares

Classificação

Hidrozoa

Predominam pólipos

Metagênese

Cubozoa

Predominam medusas

Schiphozoa

Predominam medusas

Metagênese

Anthozoa

Forma polipoide

Staurozoa

Forma polipoide

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. **IFCE** – Sobre os cnidários, é correto afirmar que
- sua digestão é exclusivamente intracelular.
 - os tipos morfológicos denominados pólipos são considerados livre-natantes.
 - os principais representantes são as medusas e as esponjas.
 - possuem uma célula especial denominada coanócito.
 - são animais que apresentam dois folhetos embrionários.

Os cnidários são diblásticos ou diploblásticos, ou seja, possuem dois folhetos embrionários (ectoderme e endoderme). Os pólipos são formas sésseis (fixas); as medusas são os tipos morfológicos livre-natantes. Os coanócitos são células presentes nas esponjas (poríferos). Os cnidários possuem sistema digestório incompleto (apenas a boca está presente). O alimento é parcialmente digerido na cavidade gastrovascular (digestão extracelular), sendo absorvido pelas células que revestem essa cavidade (células da gastroderme). O processo se completa com a digestão intracelular.

2. **Udesc** – Analise as proposições em relação a um grupo animal cujo personagem de desenho animado, Bob Esponja, é representante típico.
- Os seus representantes são exclusivamente aquáticos.
 - Crescem aderidos a substratos e praticamente não se movimentam.
 - Possuem células especializadas chamadas de coanócitos que estão relacionadas com a alimentação destes animais.
 - Apresentam reprodução assexuada e também sexuada.
 - A estrutura corporal básica é do tipo asconoide, siconoide ou leuconoide.

Assinale a alternativa correta:

- Somente uma afirmativa é verdadeira.
- Somente duas afirmativas são verdadeiras.
- Somente três afirmativas são verdadeiras.
- Somente quatro afirmativas são verdadeiras.
- Todas as afirmativas são verdadeiras.

As esponjas são organismos exclusivamente aquáticos e sésseis (fixos a um substrato). Os coanócitos são células flageladas responsáveis pela captação de alimentos e oxigênio. A reprodução pode ser tanto assexuada, por brotamento e gêmulas, ou sexuada, com gametas que originam uma larva livre-natante denominada de anfiblastula. São três os tipos básicos de organização morfológica desses animais: asconoide, siconoide ou leuconoide.

3. **Uece (adaptada)** – Que características permitem a inclusão de um organismo no filo Porífera, mas não em qualquer outro filo animal?

Ausência de tecidos verdadeiros, ou seja, suas células não estão organizadas formando tecidos; e ausência de uma cavidade ou tubo digestório.

Os demais filós animais são chamados de Eumetazoa, por compreenderem animais com tecidos verdadeiros, diblásticos (filo Cnidaria) ou

triblásticos (demais filós), e com tubo ou cavidade digestória, chamados

de enterozoários (incompletos ou completos).

4. **IFSul-RS** – O filo Porífera tem representantes no ambiente marinho e na água doce, podendo viver isoladamente ou em colônias. Apresenta estrutura corpórea simples, não possui órgãos diferenciados e sim tipos diferenciados de células, tais como os pinacócitos e os coanócitos.

Essas células têm como função, respectivamente,

- reprodução e revestimento.
- revestimento e digestão.
- digestão e revestimento.
- revestimento e reprodução.

Nos poríferos (também denominados esponjas), a parede externa do corpo é constituída por células achatadas chamadas pinacócitos. A cavidade interna do corpo das esponjas, a espongiocele, é revestida por células flageladas chamadas coanócitos. Estes realizam a digestão intracelular do alimento em suspensão na água que é filtrada. O batimento do flagelo dos coanócitos gera uma corrente de água que entra no corpo dos poríferos através dos poros na parede do corpo, chega até a espongiocele, onde o alimento em suspensão na água é filtrado e capturado pelos coanócitos, e deixa o corpo das esponjas pelo ósculo (grande abertura na extremidade superior do organismo).

5. **Uece** – Cnidoblastos ou cnidócitos são células de defesa observadas em

- pepinos-do-mar.
- paramécios.
- anêmonas.
- ascídias.

Os cnidoblastos ou cnidócitos são células especializadas envolvidas principalmente na defesa e na captura de alimento (presas) pelos cnidários (anêmonas-do-mar, pólipos, medusas e caravelas).

6. **Unicamp-SP (adaptada)** – O estudo do desenvolvimento embrionário é importante para se entender a evolução dos animais. Observe a imagem abaixo.



BODORTIVADAR

Assinale a alternativa correta.

- O animal representado apresenta simetria bilateral e é celomado.
- O animal representado não apresenta simetria corporal e é celomado.
- O animal representado apresenta simetria radial e é acelomado.
- O animal representado não apresenta simetria corporal e é acelomado.

A figura representa uma medusa, popularmente conhecida como água-viva, que é um animal pertencente ao filo Cnidaria. Os cnidários possuem simetria radial e são acelomados, ou seja, não têm celoma.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. Uerj – O rompimento da barragem de contenção de uma mineradora em Mariana (MG) acarretou o derramamento de lama contendo resíduos poluentes no rio Doce. Esses resíduos foram gerados na obtenção de um minério composto pelo metal de menor raio atômico do grupo 8 da tabela de classificação periódica. A lama levou 16 dias para atingir o mar, situado a 600 km do local do acidente, deixando um rastro de destruição nesse percurso. Caso alcance o arquipélago de Abrolhos, os recifes de coral dessa região ficarão ameaçados. A água do mar em Abrolhos se tornaria turva, se a lama atingisse o arquipélago.

A turbidez da água interfere diretamente no seguinte processo biológico realizado nos recifes de coral:

- fotossíntese.
- eutrofização.
- bioacumulação.
- tamponamento.

8. ULBRA-SP – As esponjas são os representantes do Filo Porifera (Reino Animalia). Este Filo é considerado um ramo primitivo na evolução dos metazoários, apresentando uma organização corporal simples. Os poríferos são usados pelos pintores de paredes para obtenção de certos efeitos especiais. Antigamente, eram usados, também, como esponjas de banho. Quanto às esponjas, é correto afirmar que:

- Possuem tecidos verdadeiros e são encontradas somente em ambientes aquáticos.
- Possuem tecidos verdadeiros e podem apresentar espículas, calcárias ou silicosas, formando o esqueleto para sustentação desses animais.
- Não possuem tecidos verdadeiros e alimentam-se de partículas em suspensão através do sistema aquífero.
- As células que capturam as partículas na água são os coanócitos; os porócitos permitem a entrada de água do meio externo, e, após a circulação, a água sai pelo ósculo.

Estão corretas:

- I e II.
- II e IV.
- II e III.
- I, II e IV.
- III e IV.

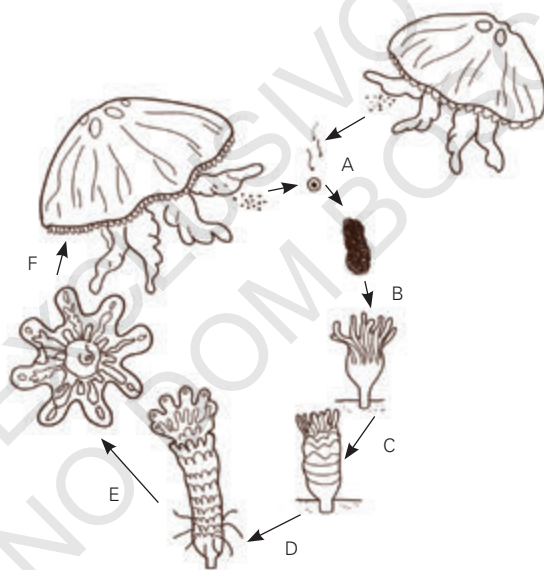
9. UEL-PR (adaptada) – Leia o texto a seguir.

Turritopsis dohrnii é uma espécie de hidrozoário conhecida atualmente como “água-viva imortal”. Seu curioso ciclo de vida foi descoberto em 1988 por Christian Sommer, um biólogo marinho alemão. Sommer manteve espécimes de *Turritopsis dohrnii* no laboratório e, após vários dias, notou que os animais estavam se comportando de uma maneira muito peculiar... eles se “recusavam” a morrer. Aparentemente, eles estavam revertendo o envelhecimento e rejuvenescendo progressivamente, até alcançarem seu estágio inicial de desenvolvimento, ponto em que novamente iniciavam seu ciclo de vida. Em 1996, os cientistas descobriram como a espécie pode se transformar novamente em um pólipo a partir da fase de medusa. Um dos cientistas comparou a água-viva a uma borboleta que pudesse

novamente se tornar uma lagarta. Hoje sabemos que o rejuvenescimento de *Turritopsis dohrnii* é desencadeado por estresse ambiental ou agressão física. Essas descobertas apareceram para desbancar a lei mais fundamental da natureza – “você nasce e então você morre”.

Fonte: RICH, N. “Can a Jellyfish Unlock the Secret of Immortality?”.

In: *The New York Times*. nov. 2012. Disponível em: <<http://www.nytimes.com/2012/12/02/magazine/can-a-jellyfish-unlock-the-secret-of-immortality.html?pagewanted=all&r=0>>. Acesso em: 18 jun. 2014. (Adaptado)



(Adaptado de: <biodidac.bio.uottwa.ca/thumbnails/filedet.htm?File_name/scyp001b/File_type/gif>. Acesso em: 18 jun. 2014.)

O esquema acima ilustra o ciclo de vida de uma água-viva.

a) Utilizando as letras do esquema, determine as etapas que podem se reverter em situações de estresse ambiental durante a vida de um indivíduo de *Turritopsis dohrnii* e justifique usando as informações do texto.

b) Embora os tipos morfológicos encontrados nos cnidários, pólipo e medusa, tenham claras e marcantes diferenças morfológicas, internamente seus corpos possuem a mesma organização. Aponte as principais características encontradas em ambos os tipos morfológicos.

10. UEM-PR (adaptada) – Sobre os poríferos, analise as afirmativas abaixo:

- 01)** Nas esponjas asconoides, os coanócitos revestem a cavidade atrial.
 - 02)** Nas esponjas siconoides, os coanócitos revestem apenas os canais radiais.
 - 04)** As esponjas leuconoides são maiores e mais complexas, com dobramentos da parede formando inúmeras câmaras flageladas.
 - 08)** Nas esponjas asconoides, o trajeto da água é: poro → ósculo → átrio.
 - 16)** A gemulação é um processo assexuado de reprodução que ocorre nas esponjas.
- a)** Quais afirmativas estão corretas?

- b)** Corrija a(s) alternativa(s) incorreta(s), tornando-a(s) verdadeira(s).

11. Uece – Os seres vivos incluídos no Filo Porífera não apresentam tecidos ou órgãos definidos, mas possuem células que realizam diversas funções relacionadas à sua sobrevivência no ambiente aquático. Com relação aos coanócitos, células que compõem o corpo dos poríferos, é correto afirmar que

- a)** são responsáveis pela distribuição de substâncias para todas as demais células do corpo do animal, por meio de plasmodesmos.
- b)** transformam-se em espermatozoides, sendo, portanto, essenciais para a reprodução sexuada nesses animais.
- c)** são células totipotentes que originam todos os outros tipos de células que compõem os tecidos desses animais.
- d)** são células flageladas que promovem o fluxo contínuo de água, promovendo a nutrição desses animais, pela circulação da água no átrio da esponja.

12. UEPG-PR (adaptada) – Com relação as características embrionárias, morfológicas e fisiológicas dos animais, assinale o que for correto.

- 01)** O sistema circulatório de um cnidário é considerado completo.
- 02)** Poríferos, celenterados e equinodermos possuem dois folhetos embrionários e por isso são considerados diblásticos.
- 04)** Os cnidários são carnívoros e se alimentam de diversos tipos de animais: crustáceos, peixes, larvas de inseto, etc. Essas presas são capturadas pelos tentáculos e levadas à boca, através da qual atingem a cavidade gastrovascular.
- 08)** Graças ao acoplamento entre células musculares e nervosas, os cnidários são capazes de realizar movimentos coordenados, como os que as medusas utilizam para nadar.

13. CPS-SP – O personagem Bob Esponja, do desenho animado criado pelo biólogo marinho Stephen Hillenburg, representa um animal do Filo Porífera conhecido popularmente como esponja. Para tornar esse desenho mais divertido e atraente, Stephen colocou nessa esponja várias características humanas, tais como boca, pernas, braços, olhos e dentes, que não condizem com a realidade desse animal na natureza. Se o Bob Esponja não andasse, falasse, dançasse ou comesse, seria, com certeza, muito sem graça. Sendo assim, muitos conceitos biológicos estão distorcidos nesse desenho animado.

As esponjas verdadeiras são animais porosos, aquáticos, fixos, isolados ou coloniais e possuem diversas formas, cores e tamanhos. A água penetra no corpo dos poríferos através de inúmeros poros, sendo esta a característica a que se refere o nome desses animais.

Comparando as esponjas verdadeiras com o personagem Bob Esponja, é correto afirmar que

- a)** ambos possuem corpo quadrado, maciço e resistente.
- b)** ambos possuem sistema sensorial desenvolvido, a fim de reagir aos estímulos do meio ambiente.
- c)** ambos possuem estruturas locomotoras, que permitem a movimentação para a obtenção de alimento.
- d)** as esponjas verdadeiras, ao contrário do Bob Esponja, não possuem boca, pois são animais filtradores.
- e)** as esponjas verdadeiras, ao contrário do Bob Esponja, podem viver fora da água.

14. Uema – A Grande Barreira de Corais da Austrália é a maior faixa de corais do mundo com 2 300 quilômetros de comprimento e largura variando de 20 a 240 quilômetros, podendo ser vista do espaço. É a maior estrutura do mundo feita unicamente por milhões de organismos vivos. É situada entre as praias do nordeste da Austrália e Papua-Nova Guiné. A Barreira de Corais da Austrália comporta uma grande biodiversidade e é considerada um dos patrimônios mundiais da humanidade.

Disponível em: <http://kabanamaster.com/os-10-lugares-mais-lindos-do-mundo/>. Acesso em: 20 set. 2013. (adaptado)

- a)** Para a formação desse magnífico ecossistema, é necessária a importante participação de que invertebrados polipóides?

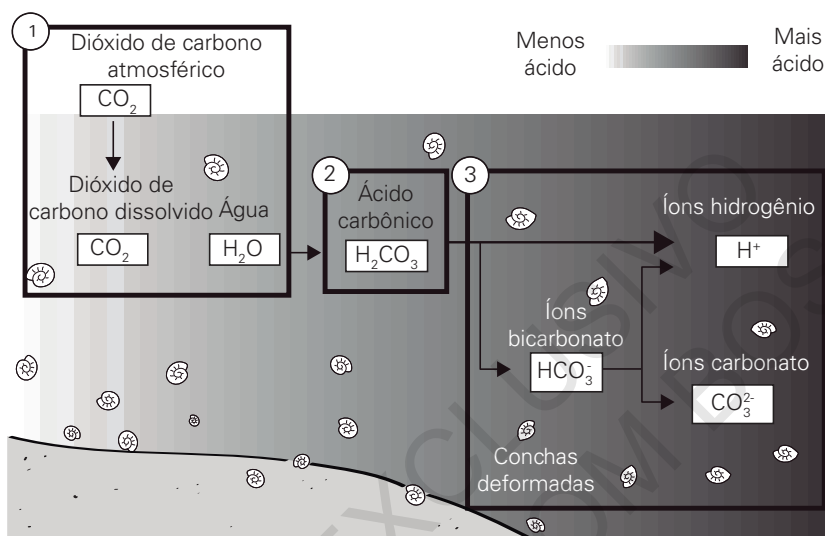
- b)** Explique como ocorre o processo de construção dessas barreiras.

ESTUDO PARA O ENEM

18. Enem

C8-H28

Parte do gás carbônico da atmosfera é absorvida pela água do mar. O esquema representa reações que ocorrem naturalmente, em equilíbrio, no sistema ambiental marinho. O excesso de dióxido de carbono na atmosfera pode afetar os recifes de corais.



O resultado desse processo nos corais é o(a)

- seu branqueamento, levando à sua morte e extinção.
- excesso de fixação de cálcio, provocando calcificação indesejável.
- menor incorporação de carbono, afetando seu metabolismo energético.
- estímulo da atividade enzimática, evitando a descalcificação dos esqueletos.
- dano à estrutura dos esqueletos calcários, diminuindo o tamanho das populações.

19. Uece

C8-H28

Quanto à organização dos espongiários, é correto afirmar que

- os coanócitos são células que, em seu conjunto, constituem o sistema nervoso simplificado desses animais.
- as esponjas que não possuem espículas em seu esqueleto apresentam uma rede de espongina bem desenvolvida.
- os amebócitos são células achatadas e bem unidas entre si, que revestem externamente o corpo desses organismos.
- por sua simplicidade morfológica, os poríferos somente conseguem se reproduzir por brotamento, fragmentação ou gemulação.

20. Enem

C8-H28

Os corais funcionam como termômetros, capazes de indicar, mudando de coloração, pequenas alterações na temperatura da água dos oceanos. Mas, um alerta, eles estão ficando brancos. O seu clareamento progressivo acontece pela perda de minúsculas algas, chamadas zooxantelas, que vivem dentro de seus tecidos, numa relação de mutualismo.

Disponível em: <http://super.abril.com.br>. Acesso em: 6 dez. 2012 (adaptado).

O desequilíbrio dessa relação faz com que os pólipos que formam os corais tenham dificuldade em

- produzir o próprio alimento.
- obter compostos nitrogenados.
- realizar a reprodução sexuada.
- absorver o oxigênio dissolvido na água.
- adquirir nutrientes derivados da fotossíntese.

18

PLATELMINTOS E NEMATÓDEOS

Platelmintos e nematódeos são popularmente conhecidos como vermes de corpo achatado e vermes de corpo cilíndrico, respectivamente. Esses animais descendem de ancestrais com o corpo formado por **três folhetos embrionários** (ectoderme, mesoderme e endoderme). Isso os torna, portanto, **triblásticos**. Assim, com exceção dos poríferos (que não têm tecidos verdadeiros) e cnidários (os quais são diblásticos), todos os demais filos animais descendem de ancestrais triblásticos. Além disso, platelmintos e nematódeos compartilham outras duas novidades evolutivas em relação a poríferos e cnidários: a **simetria bilateral do corpo** e a **centralização do sistema nervoso**.

Os dois grupos compreendem espécies que vivem em ambientes terrestres e aquáticos, que podem ter forma de vida livre ou ser parasitas de animais e plantas.

No entanto, esses dois grupos de animais são conhecidos principalmente em função de certas parasitoses, uma vez que atingem com frequência seres humanos. Há pelo menos 50 doenças bastante comuns causadas por vermes das quais podemos ser vítimas.

De acordo com a Organização Mundial de Saúde (OMS), estima-se que, no mundo, mais de 1 bilhão de pessoas corre risco de contrair verminoses transmitidas por solo e/ou água contaminados. Não por acaso, essas doenças são principalmente causadas pela falta de saneamento básico, realidade crônica em países pobres ou em desenvolvimento de regiões tropicais ou subtropicais.

As verminoses não são apenas um problema de saúde pública, mas de impacto socioeconômico, na medida em que envolvem gastos com tratamentos e remédios e afetam a qualidade de vida da população, o que conseqüentemente prejudica a produtividade e a renda desses países.

- Platelmintos
- Nematódeos

HABILIDADES

- Identificar padrões em fenômenos e processos vitais dos vermes.
- Reconhecer características que possibilitam incluir platelmintos e nematódeos no reino Animalia.
- Caracterizar os grupos de platelmintos e nematódeos quanto à sua morfologia e fisiologia.
- Comparar características entre platelmintos e nematódeos.
- Conhecer as principais verminoses e parasitoses causadas por platelmintos e nematódeos.

GERALD ROBERT FISCHER/SHUTTERSTOCK



Platelminto marinho de vida livre (classe Turbellaria).

PLATELMINTOS

Esse termo deriva do grego (*platys* = achatado + *helminthes* = verme). São conhecidos popularmente como vermes achatados em razão do formato de representantes típicos do grupo, como as planárias. No entanto, existem platelmintos de corpo alongado em forma de fita e com formato ovoide.

Atualmente são conhecidas cerca de 20 000 espécies de platelmintos, que se distribuem em locais terrestres úmidos ou em ambientes aquáticos marinhos ou de água doce. As formas parasitas são responsáveis por doenças humanas frequentes e graves, como a esquistossomose (*Schistosoma*), a teníase e a cisticercose (*Taenia*).

CARACTERÍSTICAS GERAIS E FISIOLÓGIA

Platelmintos são **triblásticos**, **acelomados** (cavidade corporal ausente) e com simetria **bilateral**. A **cefalização** e a mesoderme desses seres são em grande parte responsáveis pela maior complexidade quando comparados com cnidários e poríferos.

Esses animais foram os primeiros na história evolutiva a apresentar cefalização, ou seja, a concentração de células nervosas (gânglios) e órgãos sensoriais na região anterior do corpo. Entre esses órgãos, estão os **ocelos** (estruturas fotorreceptoras localizadas na região cefálica que facilitam a exploração do ambiente durante seu deslocamento) e as **aurículas** (expansões laterais da região cefálica capazes de perceber substâncias químicas dissolvidas na água, o que auxilia o animal a procurar alimento).

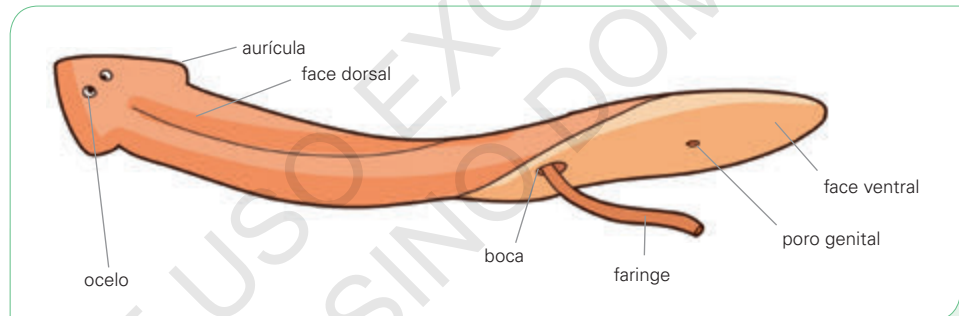


Ilustração de uma planária de água doce. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

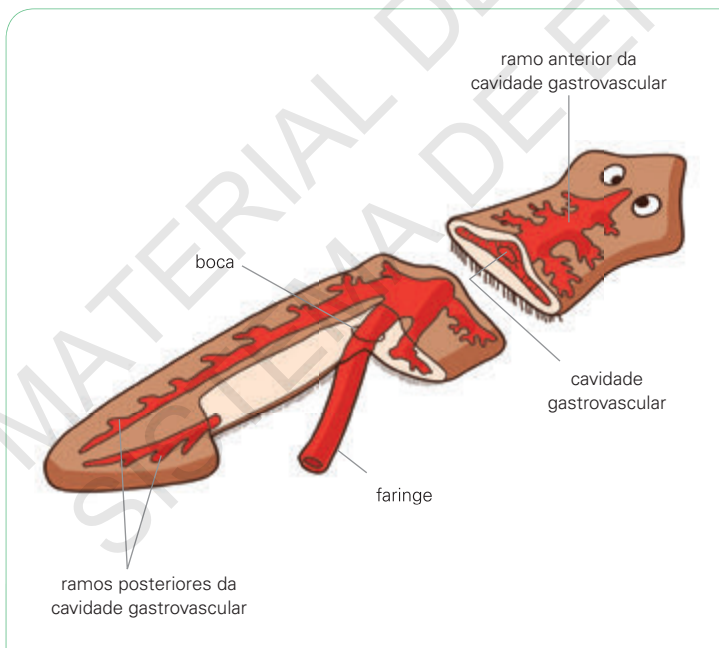


Ilustração esquemática do sistema digestório da planária. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

O tubo digestório desses seres é incompleto, portanto são animais **protostômios** e **entozoários incompletos**. Apresentam a boca como único orifício e são desprovidos de ânus para eliminar resíduos alimentares.

Tênias e demais representantes da classe Cestoda não dispõem de sistema digestório. Nesse caso, o alimento é absorvido diretamente pela parede do corpo do animal.

A ausência dos sistemas respiratório e circulatório é compensada pelo formato achatado do corpo desses animais. Isso facilita o transporte por difusão para todas as partes do organismo.

Vermes parasitas são anaeróbios. Já os de vida livre respiram pelo processo de difusão. Os platelmintos foram o primeiro grupo de animais a ter um sistema excretor, formado por protonefrídios, compostos de células-flama ou solenócitos. Essas células apresentam inúmeros cílios, que, por meio de batimentos contínuos, filtram os fluidos extracelulares (intersticiais) do parênquima para o sistema de túbulos, os quais se abrem para o exterior por meio de poros excretores.

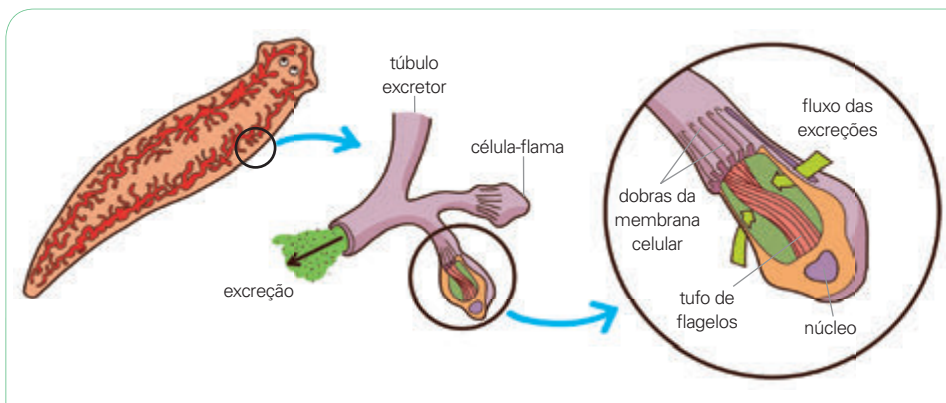


Ilustração do sistema excretor da planária, com as células-flama em detalhes. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Fonte: AMABIS, José M.; MARTHO, Gilberto R. *Biologia*. 3. ed. São Paulo: Moderna, 2010. p. 220. v. 2.

O sistema nervoso dos platelmintos é do tipo **gan-glionar**, formado por um par de gânglios nervosos na região anterior. Dela partem um ou mais pares de cordões nervosos longitudinais, dispostos na superfície ventral, dorsal ou lateral. Esses cordões estão ligados transversalmente por diversas comissuras (nervos). Dos gânglios e dos cordões nervosos partem ramificações das células nervosas para o restante do corpo.

Reprodução

Ocorre de forma sexuada e assexuada. Quando platelmintos menores, como as planárias, sofrem um corte transversal, cada parte se regenera e origina outro indivíduo.

As planárias também se reproduzem sexuadamente. Embora sejam animais hermafroditas, não conseguem realizar autofecundação. Para o processo ocorrer, duas planárias se aproximam e posicionam seus poros genitais, fazendo-os entrarem em contato, por meio de orifícios na superfície ventral. Através deles as planárias trocam espermatozoides e realizam fecundação **cruzada e interna**. O zigoto, junto às células ricas em substâncias nutritivas, é liberado do corpo do progenitor e desenvolve-se sem passar por estágio larval (desenvolvimento direto).

Platelmintos parasitas se reproduzem sexuadamente. O verme *Schistosoma mansoni*, causador da esquistossomose, apresenta sexos separados (dioico) com dimorfismo sexual. As tênias são hermafroditas e realizam autofecundação.

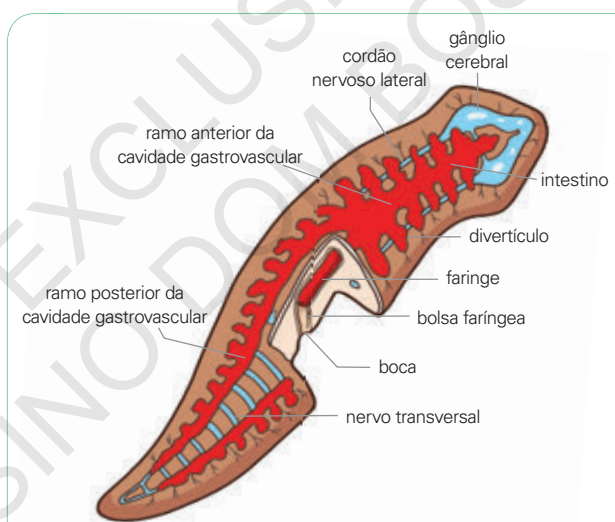


Ilustração esquemática do sistema nervoso da planária. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Fonte: HICKMAN et al. *Princípios integrados de Zoologia*. 16. ed. São Paulo: Guanabara Koogan, 2016. p. 474.

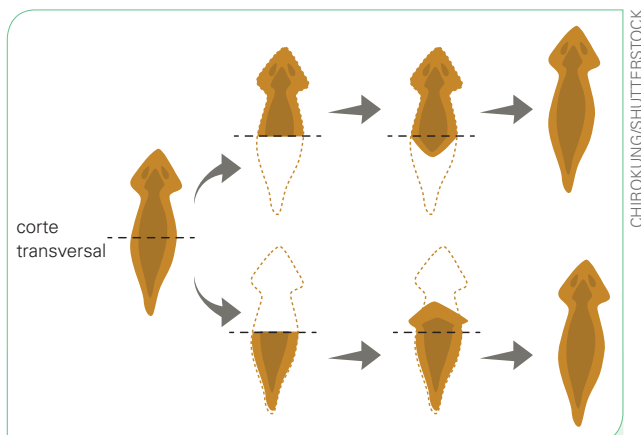


Ilustração esquemática da regeneração em planárias. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.



Imagem de um indivíduo adulto de *Taenia solium*. Quando desenrolados, esses animais podem chegar a cerca de 10 metros de comprimento.

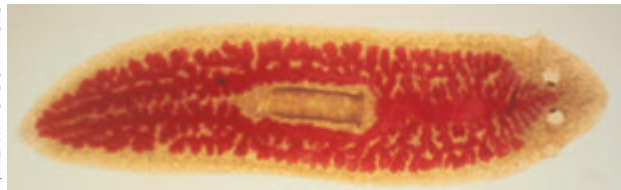
CLASSIFICAÇÃO

O filo Platyhelminthes é geralmente dividido em três classes: “Turbellaria”, Trematoda e Cestoda. É importante ressaltar que o nome da primeira classe recebe aspas por ser um grupo parafilético, sem valor taxonômico.

Classe “Turbellaria”

Compreende espécies aquáticas ou terrestres de vida livre. Planárias, por exemplo, vivem em locais de água limpa, sob folhas ou pedras. Medem de 1 cm a 2 cm de comprimento e de 2 mm a 5 mm de largura, com uma extremidade anterior e outra posterior.

SCIENCE HISTORY IMAGES
/ ALAMY STOCK PHOTO



As planárias do gênero *Dugesia* são platelmintos de vida livre. Imagens de microscopia óptica desse gênero oferecem excelente visualização de órgãos e tecidos. Em vermelho, podemos ver a estrutura do tubo digestório e suas ramificações.

Classe Trematoda

Compreende platelmintos parasitas internos (endoparasitas), como o *Schistosoma mansoni* e a *Fasciola hepatica* (causadora de infecção no fígado), além de parasitas externos (ectoparasitas) de peixes. Esses vermes apresentam corpo revestido por uma cutícula protetora contra enzimas digestivas do hospedeiro. Contam também com ventosas usadas para fixação.

NIBSCI/ SCIENCE PHOTO
LIBRARY/ FOTOARENA



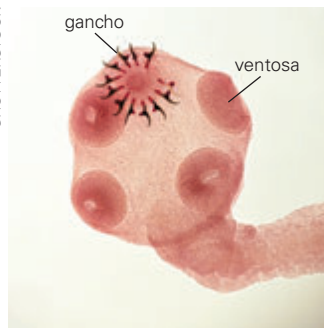
Imagem de eletromicrografia de varredura de *Schistosoma* sp., representando o macho (rosa) e a fêmea (verde). Aumento desconhecido. Cores fantasia.

DR. ARTHUR SIEGELMAN, VISUALS UNLIMITED/
SCIENCE PHOTO LIBRARY/ FOTOARENA



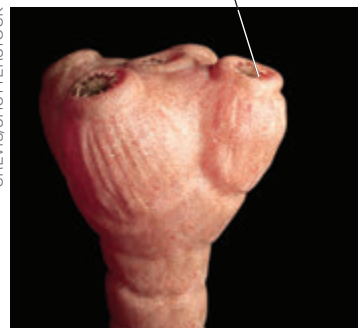
Imagem de microscopia óptica de *Fasciola hepatica*, causadora da fasciolose. Esse animal tem como hospedeiros definitivos ovinos e bovinos (e, acidentalmente, humanos). Aumento desconhecido.

D. KUCHARSKI K. KUCHARSKÁ
SHUTTERSTOCK



Escólex de *Taenia solium* (esquerda) e de *T. saginata* (direita).

CREVIS/SHUTTERSTOCK



Classe Cestoda

É formada em sua totalidade por endoparasitas. Entre os representantes mais conhecidos, estão as tênias. São exemplos: *Taenia solium*; *T. saginata*; *Echinococcus granulosus*; *Hymenolepis nana*; *Hymenolepis diminuta*; *Diphyllobothrium latum* (tênia do peixe). Esses seres têm corpo alongado e dividido em três regiões: cabeça (ou escólex), pescoço (ou colo) e corpo (ou estróbilo). Na cabeça há ventosas (ganchos ou botrídias), usadas para se fixarem ao hospedeiro. Do pescoço até o final do corpo, na região posterior, existe a divisão em segmentos – chamados proglótides (ou proglotes). São classificadas em jovens, adultas e grávidas ou gravídicas (repletas de ovos).

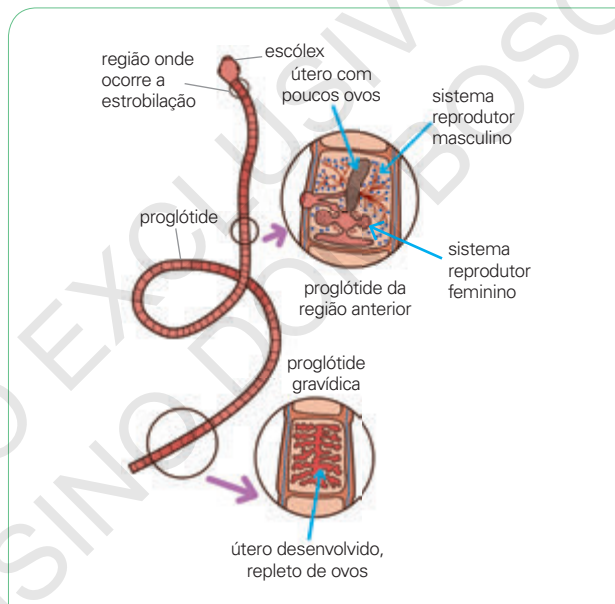


Ilustração esquemática do corpo de uma tênia, com as proglótides em detalhes. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Fonte: LOPES, Sônia; ROSSO, Sergio. *Bio*, 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2013. p. 197. v. 3.

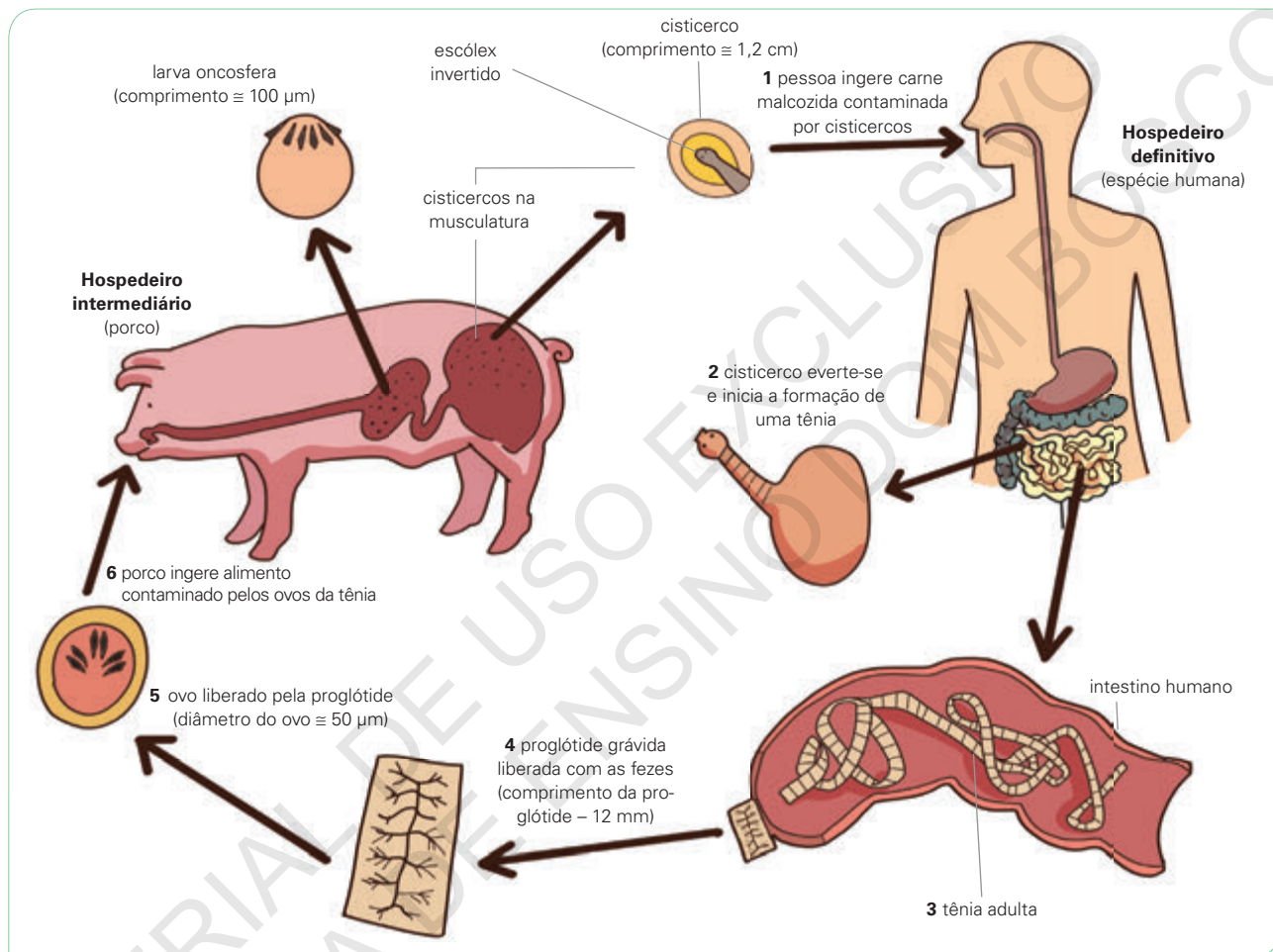
PARASITOSE

Teníase

É uma doença causada por platelmintos das espécies *Taenia solium* (parasita de suínos) e *Taenia saginata* (parasita de bovinos). A fixação do escólex ocorre por meio de ventosas na *T. saginata* e por meio de ventosas e ganchos na *T. solium*.

ventosa

O ciclo reprodutivo da teníase inicia-se com o rompimento dos ovos ingeridos no intestino do hospedeiro **intermediário**. Posteriormente o embrião é liberado. Este penetra pela mucosa intestinal, alcança a corrente sanguínea e se instala em tecidos moles, como músculos e sistema nervoso (cérebro). O embrião desenvolve-se nesses tecidos e origina as larvas chamadas **cisticercos**. Se a carne do animal contaminado for consumida crua ou malcozida, os cisticercos abrem-se por ação das enzimas digestivas do indivíduo. Então, o escólex liberado fixa-se na mucosa intestinal e cresce, formando outro indivíduo, que absorve os nutrientes do hospedeiro por difusão, através de sua superfície corporal. Em poucos meses, proglótides grávidas são eliminadas pelas fezes do novo hospedeiro, as quais podem contaminar outras pessoas ou outros animais.



Ciclo reprodutivo da teníase do porco, a *Taenia solium*. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Fonte: AMABIS, José M.; MARTHO, Gilberto R. *Biologia*. 3. ed. São Paulo: Moderna, 2010. p. 226. v. 2.

Quando surgem, alguns dos sintomas mais comuns da teníase são: dor de cabeça, mal-estar, diarreia e falta de apetite. Às vezes, ocorrem dores abdominais, anemia e fraqueza.

A prevenção consiste em três medidas principais: cuidados adequados com dejetos humanos por meio de saneamento básico; cozimento adequado de carnes bovinas e, principalmente, suínas; tratamento dos doentes, o que evita que sejam eliminadas no ambiente mais proglótides com ovos.

Cisticercose

O ser humano participa do ciclo reprodutivo da *Taenia solium* como hospedeiro intermediário, ao ingerir ovos do parasita presentes em água contaminada ou alimentos crus ou mal lavados.

O ciclo é igual ao que ocorre no porco: os ovos eclodem no intestino e liberam o embrião. Este penetra a mucosa intestinal, percorre a corrente sanguínea e atinge os tecidos moles, nos quais se instala.

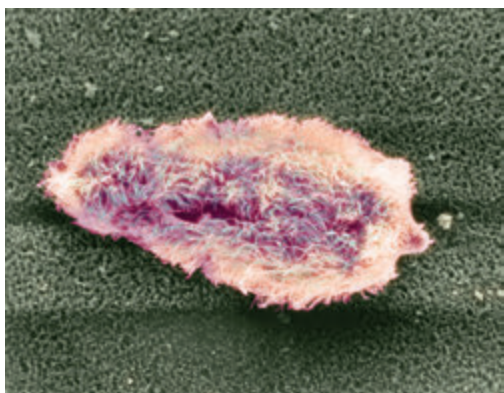


Imagem de eletromicrografia da larva cercária. Aumento desconhecido.



Imagem de eletromicrografia de larva miracidio. Aumento desconhecido.

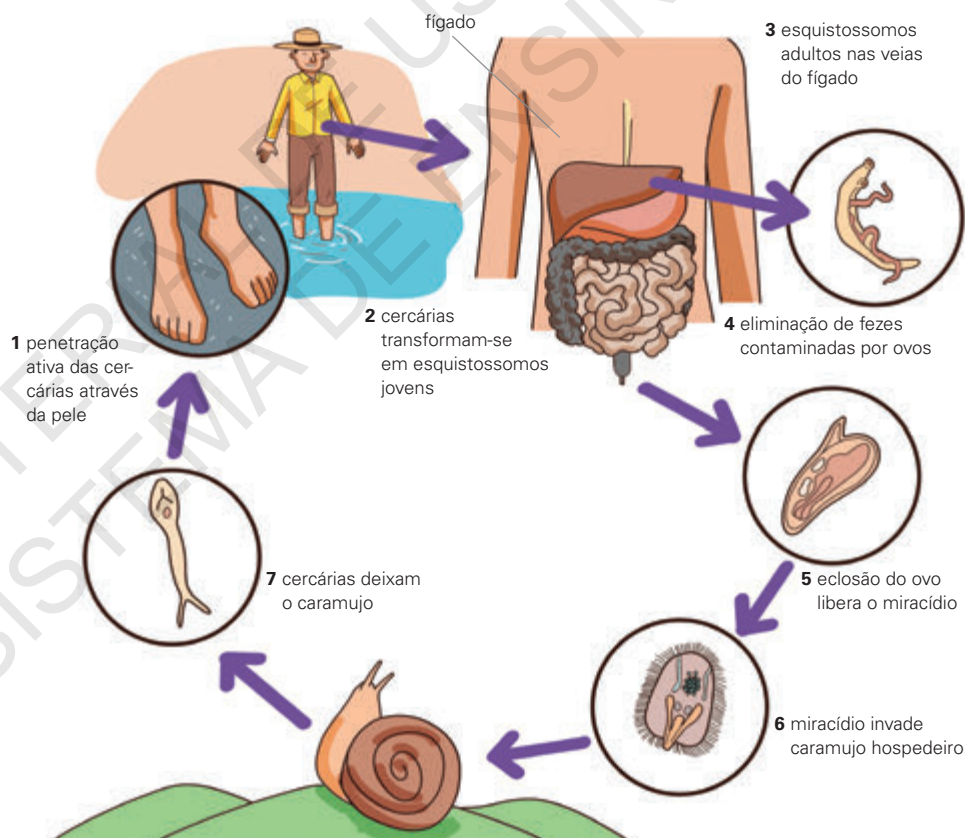
Freqüentemente músculos, olhos e cérebro são os locais afetados. No último caso, a doença se manifesta com maior gravidade e, na forma da neurocisticercose humana, patologia que pode causar a morte do indivíduo.

Esquistossomose

Também conhecida popularmente como barriga-d'água, é a verminose mais letal do mundo. Estima-se que entre 8 milhões e 10 milhões de pessoas sejam parasitadas anualmente no Brasil. Esse número representa quase 4% da população. O agente causador é o platelminto *Schistosoma mansoni*.

Os esquistossomas têm como hospedeiro intermediário natural caramujos de água doce do gênero *Biomphalaria*. Esses animais vivem em corpos de água de pouca correnteza e apresentam enorme capacidade reprodutiva. Em ambiente favorável (água limpa), a larva ciliada **miracidio** se desenvolve no ovo. Quando este eclode, ela nada até encontrar e penetrar o caramujo. A larva, então, transforma-se em uma espécie de saco contendo células germinativas chamadas de **esporocistos** (reprodução assexuada). Estes se desenvolvem em **cercárias**, larvas que penetram ativamente a pele humana.

Na corrente sanguínea, as cercárias alcançam os vasos do fígado, onde se alimentam e se desenvolvem. Ao se tornarem sexualmente maduras, migram na direção dos vasos da mucosa intestinal. Nelas acontece a postura dos ovos (reprodução sexuada). A parede desses vasos se rompe, e os ovos caem no intestino, os quais são posteriormente eliminados com as fezes do indivíduo contaminado.



Ciclo reprodutivo do trematódeo *Schistosoma mansoni*, causador da esquistossomose. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Fonte: AMABIS, José M.; MARTHO, Gilberto R. *Biologia*. 3. ed. São Paulo: Moderna, 2010. p. 225. v. 2.

Na **fase aguda** da doença, os sintomas são vermelhidão e coceira no local da penetração das cercárias. Cerca de um mês depois da infestação, surgem febre, mal-estar, indisposição, fraqueza, calafrios e diarreia. A manifestação da **fase crônica** é caracterizada por diarreia sanguinolenta, dor abdominal, falta de ar, aumento acentuado do baço e, principalmente, do fígado. Além disso, há acúmulo de líquido na cavidade abdominal, o que explica o nome popular da doença: barriga-d'água.

Medidas de prevenção da doença são tratamento dentário dos doentes, saneamento básico e controle biológico dos caramujos.

NEMATÓDEOS

Os vermes do filo Nematoda eram anteriormente conhecidos como Nematelminthes. O nome do grupo origina-se do grego (*nematos* = fio + *helminthes* = vermes), uma referência ao formato cilíndrico alongado do corpo dos representantes típicos. Seu tamanho varia de 1 mm até 1 m, mas grande parte das espécies é menor que 1 cm. Assim como os platelmintos, os nematódeos são vermes não segmentados. Há representantes de vida livre e parasitas. Atualmente são descritas cerca de 25 000 espécies, mas estima-se que exista aproximadamente meio milhão de espécies desconhecidas em todo o planeta.

RATTIVA THONGDUMHYU/SHUTTERSTOCK



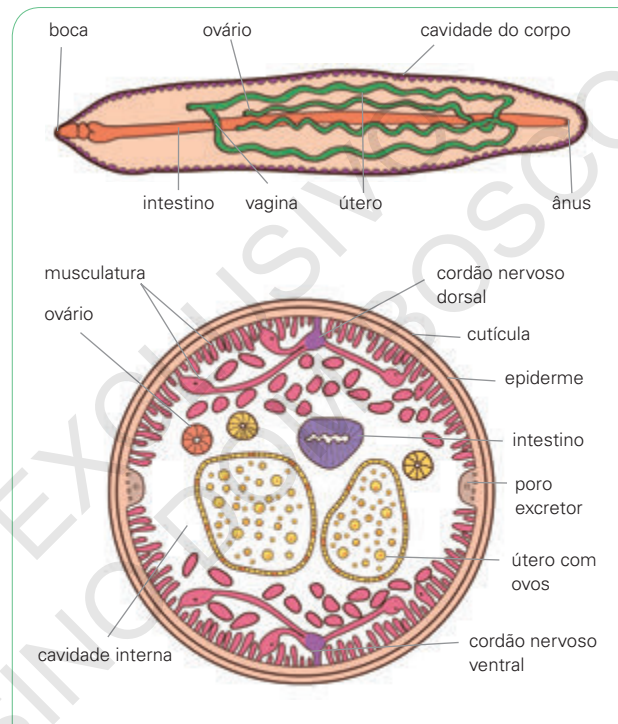
Dois indivíduos de *Ascaris lumbricoides*. Fêmea (à esquerda) e macho (à direita).

Os nematódeos incluem espécies terrestres e aquáticas marinhas e de água doce. Exercem função importante na decomposição de matéria orgânica e na ciclagem de nutrientes de solos úmidos, lagos e oceanos.

CARACTERÍSTICAS GERAIS

Nematódeos são organismos de corpo cilíndrico alongado, triblásticos, com simetria bilateral. São protostômios e apresentam, em comparação a platelmintos, um sistema digestório **completo** como novidade evolutiva, o qual é formado por boca e ânus (**enterozóários completos**). Têm cavidade corporal interna, mas que não é revestida por mesoderme – por isso é chamada de **pseudoceloma**. Essa cavidade abriga os órgãos internos e é preenchida por fluidos, funcionando como um **esqueleto hidrostático**. Os nematódeos têm sistema nervoso com cefalização (gânglios e cordões nervosos dorsal e ventral) e sistema excretor em forma de túbulos em “H”.

Geralmente a epiderme dos nematódeos é coberta por uma cutícula resistente e flexível secretada por ela mesma. Essa cutícula limita o crescimento, e o animal sofre o processo de muda ou ecdise (substituição da cutícula por uma nova) durante seu crescimento. A musculatura desses seres tem apenas fibras longitudinais, por isso sua contração causa movimentos do corpo similares a um chicote.



Fêmea de *Ascaris lumbricoides*. Estruturas internas em cortes longitudinal (à esquerda) e transversal (à direita). Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

FISIOLOGIA

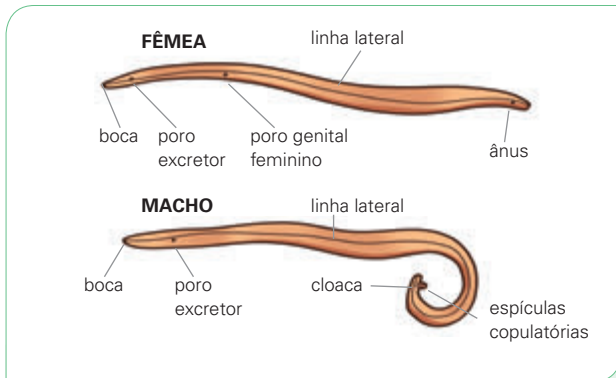
O sistema digestório dos nematódeos é constituído por boca, faringe muscular, intestino e ânus. O alimento entra pela boca, passa para a faringe e chega ao intestino. Esses animais têm variados hábitos alimentares, desde detritívoros até parasitas, tanto de animais quanto de plantas.

Os nematódeos não dispõem de sistemas respiratório e circulatório. Dessa forma, os nutrientes são em parte distribuídos pelos fluidos do pseudoceloma (difusão simples). As trocas gasosas acontecem na superfície corporal, por difusão. Nematódeos de vida livre são aeróbios e obtêm o oxigênio no meio em que vivem. Os parasitas, geralmente anaeróbios, realizam fermentação.

Os resíduos metabólicos são excretados por meio do líquido que ocupa o pseudoceloma, por dois tubos longitudinais ligados por um menor, transversal. Dos **tubos em “H”**, partem ramos longitudinais que se abrem em orifícios próximos à boca, denominados poros excretores.

O sistema nervoso dos nematódeos é **ganglionar e ventral**. De um anel nervoso que circunda a faringe partem dois cordões nervosos (um ventral e um dorsal), ao longo dos quais se concentram gânglios nervosos (região de concentração de células nervosas).

Nematódeos são seres dioicos (têm sexos separados) e exibem dimorfismo sexual. O macho da lombriga tem a extremidade posterior recurvada e **espículas copulatórias** (peniais) na região posterior, próximas ao ânus. Estas são utilizadas no momento da cópula. A fêmea, geralmente maior que o macho, tem formato retilíneo, com um poro genital ventral no meio do corpo. As formas de vida livre têm desenvolvimento direto.



Macho e fêmea do *Ascaris lumbricoides*. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Fonte: AMABIS, José M.; MARTHO, Gilberto R. *Biologia*. 3. ed. São Paulo: Moderna, 2010. p. 199. v. 2.

A fecundação nos nematódeos é interna. O zigoto desenvolve-se em ovo com casca resistente. Muitas espécies eliminam ovos fecundados para o ambiente, no qual as primeiras divisões celulares ocorrem. Os ovos, então, tornam-se embrionados. O desenvolvimento indireto caracteriza-se pela passagem por diferentes estágios larvais.

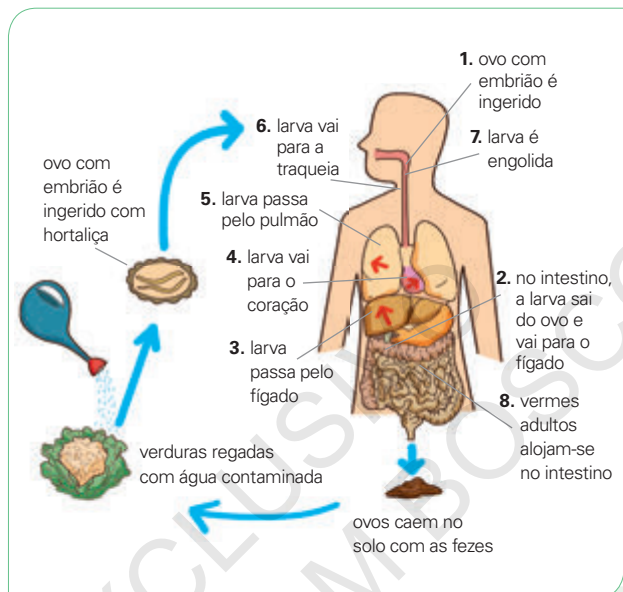
PARASITOSE

Ascaridíase

Verminose mais frequente no Brasil, é causada pelo nematódeo *Ascaris lumbricoides*, popularmente conhecido como lombriga. Esse verme mede de 10 cm a 30 cm de comprimento. É um parasita **monóxeno** (sem hospedeiro intermediário), dioico e com dimorfismo sexual. A infestação acontece pela ingestão de água e alimentos contaminados por ovos embrionados.

Uma vez ingeridos, os ovos passam pelo tubo digestório e têm suas paredes destruídas por secreções enzimáticas. A larva é, assim, liberada. Esta penetra a mucosa intestinal, alcança a corrente sanguínea e chega aos pulmões. Nelas rompem pequenos capilares sanguíneos e causam lesão alveolar, o que pode acarretar irritação local e tosse, que faz as larvas serem levadas à faringe. Elas são, dessa forma, engolidas com as secreções brônquicas e a saliva. Chegam assim ao estômago novamente e depois alcançam o intestino delgado. Nele, as larvas se instalam e se tornam indivíduos sexualmente maduros, os quais iniciam a postura dos ovos. Uma fêmea chega a eliminar mais de 200 mil ovos por dia. Quando os parasitas chegam ao intestino, os sintomas mais típicos se manifestam: desânimo, dor abdominal, náuseas e falta de apetite. Os parasitas retiram nutrientes do hospedeiro, o que pode provocar ou agravar a desnutrição.

O tratamento dos doentes evita a eliminação de ovos no ambiente. Além disso, saneamento básico e higienização dos alimentos são medidas preventivas.



Ciclo reprodutivo dos nematódeos causadores de ascaridíase. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Fonte: LINHARES, Sérgio; GEWANDSZNAJDER, Fernando. *Biologia hoje*. 2. ed. São Paulo: Ática, 2014. p. 140.

Ancilostomose

Também conhecida por amarelão ou opilação, essa verminose ocorre com maior frequência em regiões quentes e úmidas. No Brasil, afeta muitas pessoas de áreas cujas condições de saneamento básico são precárias. O verme provoca grande enfraquecimento orgânico, o que deixa o doente bastante indisposto.

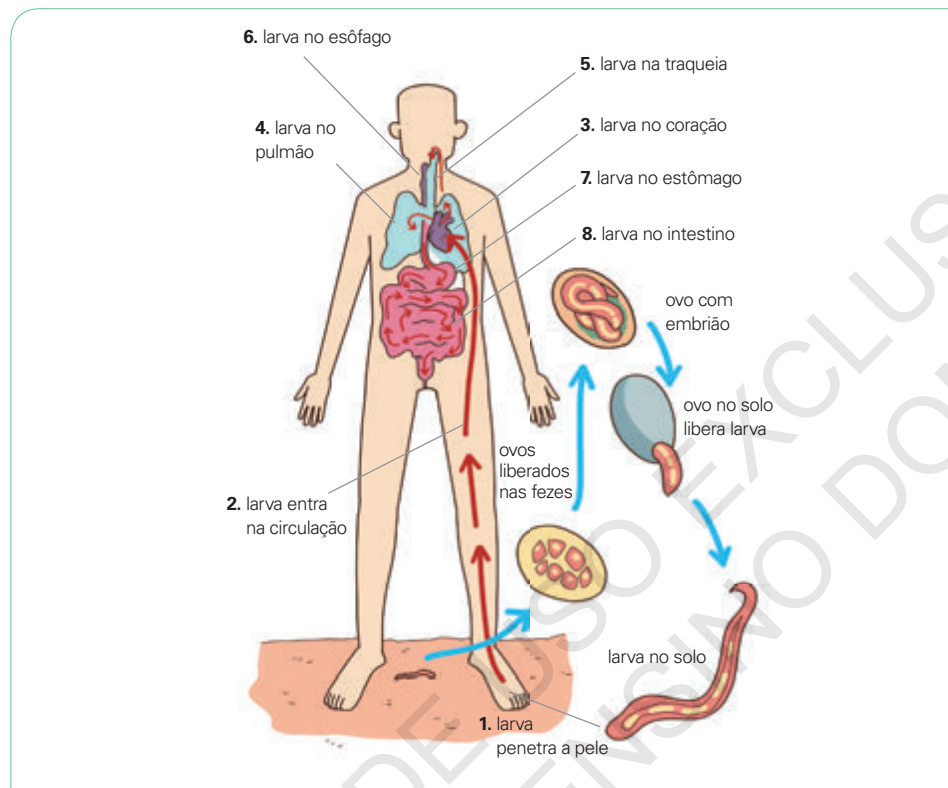
O amarelão é causado pelos nematódeos *Ancylostoma duodenale* e *Necator americanus*. Geralmente com menos de 1 cm de comprimento, são vermes monóxenos e dioicos, com dimorfismo sexual. A boca desses seres tem dentes (*Ancylostoma duodenale*) ou lâminas orais (*Necator americanus*). Por eles se fixarem na mucosa intestinal do hospedeiro, lesionam os capilares sanguíneos e se alimentam de sangue.



DENNIS KUNKEL MICROSCOPY/
SCIENCE PHOTO LIBRARY/
FOTOARENA

Eletromicrografia de varredura com detalhes da região bucal do *Ancylostoma braziliensis*. Os dentes são usados para fixação na mucosa intestinal do hospedeiro. Aumento desconhecido. Cores fantasia.

Os adultos acasalam no intestino do hospedeiro, e as fêmeas fazem a postura de grande número de ovos, que chegam ao ambiente com as fezes. Uma larva pequena (**filarioide**) eclode e movimentando-se no solo úmido à procura de hospedeiro – que pode ser uma pessoa descalça. Com o auxílio de enzimas digestivas, penetra ativamente a pele dos pés. A larva atinge capilares sanguíneos e é levada pelo sistema circulatório aos pulmões. Neles rompe os alvéolos, sobe pelas vias aéreas e atinge a faringe. Pode, então, ser expelida por um acesso de tosse ou deglutida. Uma vez engolida, chega ao duodeno já na forma adulta. Aproximadamente dois meses decorrem da penetração da larva até o início de postura de ovos pelo verme maduro estabelecido no intestino.



Ciclo reprodutivo dos nematódeos causadores da ancilostomose no ser humano. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Fonte: LINHARES, Sérgio; GEWANDSZNAJDER, Fernando. *Biologia hoje*. 2. ed. São Paulo: Ática, 2014. p. 141.

Os sintomas variam de anemia (provocada por ulcerações da mucosa intestinal) até pneumonia (em consequência de lesões pulmonares). Medidas profiláticas incluem saneamento básico, uso de calçados para evitar o contato com a larva e tratamento dos doentes.

Filariose

Também conhecida como elefantíase, é uma doença de origem africana muito comum em áreas tropicais. No Brasil, sua maior frequência é registrada nas regiões Norte e Nordeste. Nesses lugares, as fêmeas do mosquito hematófago do gênero *Culex* (vetor da doença), encontram ambiente favorável para se desenvolver.

O agente etiológico da doença é o nematódeo *Wuchereria bancrofti*, também conhecido por filária. Trata-se de um verme parasita dioico, heteroxeno (dois hospedeiros), cujos hospedeiros intermediário e definitivo são, respectivamente, o mosquito *Culex* e a espécie humana. O parasita aloja-se nos vasos linfáticos, obstruindo-os e causando edema no local. Esse estado se torna irreversível e pode deformar o órgão afetado (geralmente a perna, mas também podem ser o escroto e as mamas).



Fêmea de mosquito do gênero *Culex*.

No momento em que o mosquito *Culex* contaminado pica a pessoa sadia, microfilárias entram na corrente sanguínea e chegam aos vasos linfáticos. O ciclo de vida delas se completa, e novos ovos liberados pelas fêmeas originam outras microfilárias, que chegam à corrente sanguínea do indivíduo. Elas então podem ser ingeridas pelo mosquito *Culex*. Quando a pessoa parasitada é picada, as microfilárias migram para o aparelho bucal do mosquito. Desse modo, elas podem ser transmitidas para outros seres humanos.



O uso de mosquiteiros e repelentes e o cuidado para evitar o acúmulo de água parada em pneus, latas, potes e outros objetos são as principais medidas de prevenção à doença. O combate ao inseto transmissor é difícil e constitui profilaxia pouco eficaz.

Larva migrans cutânea (bicho-geográfico)

O agente etiológico dessa doença é o *Ancylostoma braziliensis*, causador da ancilostomose animal. Durante o estágio larval, ele penetra ativamente a pele humana. Os principais sintomas são prurido local e linhas avermelhadas na pele, em virtude da irritação causada pelo deslocamento das larvas. O ciclo de vida não se completa no hospedeiro acidental.

As principais medidas profiláticas são: tratamento de cães e gatos infectados; remoção das fezes desses animais do ambiente; proibição da presença desses em praias; cuidado com a areia em locais em que as crianças brincam.

Oxiurose (enterobiose)

É causada pelo *Enterobius vermicularis*, transmitido pela ingestão dos ovos por humanos ou por autoinfestação em razão da coceira anal causada pelo verme. Os seres adultos desenvolvem-se no intestino.

À noite, as fêmeas saem do reto e depositam os ovos na mucosa anal e na pele perianal. Em seguida, voltam para dentro do corpo do indivíduo. O processo causa intenso prurido (coceira) anal.

A prevenção inclui: higiene pessoal, principalmente das mãos; cuidado com os alimentos ingeridos; saneamento básico; tratamento dos doentes.

É aconselhado às pessoas infectadas que, ao acordarem, lavem a região anal e troquem diariamente roupa íntima e lençóis.

ROTEIRO DE AULA

METAZOA

PLATELMINTOS

Características gerais

Forma do corpo: achatados

Celoma: acelomados

triblásticos

Blastóporo origina: boca

Simetria: bilateral

Vida livre ou parasitas

Hábitat: ambientes terrestres úmidos e aquáticos

Fisiologia

Excreção: protonefrídeos

Sistema nervoso: cefalização

Tubo digestório: incompleto

Trocas gasosas e circulação: difusão simples

Classificação

"Turbellaria"

formas livres e parasitas

planárias

Trematoda

parasita

esquistossomose

Cestoda

parasita

teníase

Reprodução

Maioria monoica

Formas de vida livre e parasitas

desenvolvimento: direto

fecundação: interna

ROTEIRO DE AULA

NEMATÓDEOS

Características gerais

Forma do corpo:

cilíndricos

Celoma:

pseudocelomados

triblásticos

Blastóporo origina:

ânus

Simetria:

bilateral

Vida livre e parasitas

Presença de cutícula

Fisiologia

Excreção:

tubos em "H"

Sistema nervoso:

cefalização

Tubo digestório

completo

Trocas gasosas e circulação

difusão e respiração cutânea

Reprodução

Maioria dioica
Dimorfismo sexual

fecundação:

interna

Larva das formas parasitas

Desenvolvimento

direto

indireto

PARASIToses

Ascariíase

Ancilostomose

Filariose

Oxiurose

Bicho-geográfico

lombriga

Amarelão

elefantíase

Causador:

Enterobius vermicularis

Causador:

Ancylostoma braziliensis

Causador:

Ascaris lumbricoides

Causador:

Ancylostoma duodenale
Necator americanus

Causador:

Wuchereria bancrofti

Infestação:

ingestão de ovos e autoinfestação

penetração ativa larva migrans

Monoxeno

Heteroxeno

Heteroxeno

Infestação:

ingestão dos ovos

Infestação:

larvas penetração ativa

Infestação:

vetor mosquito *Culex*

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. IFCE – Analise as assertivas a seguir.

- I. O agente causador é um animal platelminto sem sistema digestório.
- II. Educação sanitária e saneamento ambiental são medidas profiláticas contra ela.
- III. É adquirida quando o ser humano ingere ovos do agente causador.

É correto afirmar que se referem à verminose

- a) teníase. d) esquistossomose.
b) cisticercose. e) filariose.
 c) ancilostomose.

A cisticercose é uma verminose causada pela *Taenia solium*, a qual não possui sistema digestório e absorve nutrientes do hospedeiro. O ser humano ingere os ovos do animal pela água e por alimentos contaminados. Medidas profiláticas incluem educação sanitária e saneamento básico.

2. CPS-SP – As verminoses são doenças causadas por vermes parasitas que se instalam no organismo do hospedeiro.

Uma dessas verminoses que afeta milhões de pessoas em todo o mundo caracteriza-se pelo fato de os vermes, no estágio de larvas, penetrarem através da pele, geralmente quando caminhamos descalços em solos contaminados. Dentro do ser humano, os vermes ficam adultos e se fixam à mucosa do intestino delgado. Com suas placas dentárias cortantes, rasgam as paredes intestinais e sugam sangue, provocando hemorragias, anemia, fraqueza, tonturas, desânimo e dores musculares no hospedeiro.

A doença parasitária descrita é conhecida como

- a) doença de Chagas. **d) amarelão.**
 b) esquistossomose. e) teníase.
 c) leptospirose.

O amarelão ou ancilostomíase é uma doença causada por vermes nematódeos (*Ancylostoma duodenale*, *Necator americanus*) e ocorre por meio da penetração de suas larvas na pele. As larvas atingem os pulmões, pela corrente sanguínea, chegam à traqueia e à faringe e são engolidas. Fixam-se no intestino delgado e se reproduzem sexuadamente, e os ovos são liberados com as fezes. Medidas profiláticas incluem o uso de calçados, e o saneamento básico.

3. PUC-RS (adaptada) – Para responder as questões, analise o cladograma abaixo.



- a) Com base no cladograma, o ponto 4 corresponde a presença de qual característica?

O ponto 4 pode corresponder ao surgimento da mesoderme. Assim,

com exceção dos poríferos (tecidos ausentes) e dos cnidários (diblastí-

cos), os demais filos descendem de uma linhagem de animais triblastí-

cos. O ponto 4 também pode representar a origem da simetria bilateral

e o surgimento de um sistema nervoso com cefalização.

- b) Com base no cladograma, o ponto 5 corresponde a presença de qual característica?

O ponto 5 corresponde ao surgimento de um tubo digestório completo,

ou seja, de animais com boca e ânus. Assim, os nematódeos e de-

mais grupos animais que evoluíram após os nematódeos descendem

de uma linhagem ancestral de animais com tubo digestório completo.

4. UTFPR (adaptada) – Muitas doenças humanas estão relacionadas à poluição ambiental causada pela própria humanidade. Algumas dessas doenças podem ser provenientes da contaminação das águas por esgotos domésticos não tratados.

Assinale a alternativa que relacione corretamente o grupo de seres vivos com a doença e com a água como possível meio de transmissão.

- a) Bacterioses, como dengue e cólera.
 b) Víruses, como amebíase e hepatite.
 c) Protozooses, como meningite e leptospirose.
d) Verminoses, como esquistossomose e ascariíase.
 e) Micoses, como pediculose e sarna.

Águas contaminadas por esgotos não tratados favorecem a transmissão de verminoses como a esquistossomose (*Schistosoma mansoni*) e a ascariíase (*Ascaris lumbricoides*). Os ovos desses vermes parasitas são liberados com as fezes de indivíduos contaminados. Medidas profiláticas incluem saneamento básico e tratamento dos doentes.

5. Unisinos-RS – Os platelmintos (*Filo Platyhelminthes*) são animais invertebrados que possuem o corpo achatado. As características que os diferenciam dos outros invertebrados são: sistema circulatório _____; sistema digestivo _____; e excreção realizada através de _____.

Sobre as características diferenciais dos platelmintos descritas acima, qual das alternativas abaixo preenche correta e respectivamente as lacunas?

- a) presente; incompleto; metanefrídeos
 b) ausente; incompleto; túbulos de Malpighi
c) ausente; incompleto; células-flama
 d) presente; completo; túbulos de Malpighi
 e) presente; incompleto; células-flama

Platelmintos são animais invertebrados triblastícos que não apresentam sistema circulatório verdadeiro. A maioria deles tem sistema digestório incompleto (enterozóários incompletos), com a presença apenas da boca (ausente nas espécies da classe Cestoda). A excreção nos platelmintos é realizada por meio de protonefrídios (também chamados de células-flama ou solenócitos).

6. Fatec-SP – Segundo dados de 2017 da Organização Mundial de Saúde, um quarto da população mundial sofre com ascariíase, ancilostomose ou tricuriíase. Esse contingente de enfermos afeta também a economia dos países, que investem nos tratamentos e perdem em produtividade. Isso porque as pessoas parasitadas rendem menos no trabalho, particularmente quando apresentam anemia, diarreia e cansaço. Assim, o dinheiro público investido em profilaxia (como saneamento básico) apresenta melhores resultados do que o investido no tratamento das doenças.

As doenças em questão são causadas por

- a) nematódeos, que absorvem nutrientes nos intestinos dos hospedeiros.**
 b) bactérias, que se instalam nas articulações dos hospedeiros.
 c) cnidários, que digerem a parede celular dos hospedeiros.
 d) anelídeos, que se alimentam dos tecidos nervosos dos hospedeiros.
 e) equinodermos, que se instalam nos músculos esqueléticos dos hospedeiros.

As doenças citadas são verminoses causadas por nematódeos, os quais absorvem nutrientes no intestino dos hospedeiros. A ascariíase é causada pelo verme *Ascaris lumbricoides*. A ancilostomose é causada pelo *Ancylostoma duodenale* e pelo *Necator americanus*. A tricuriíase é causada pelo verme *Trichuris trichiura*.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. PUC-PR (adaptada) – Considere o texto a seguir.**Força-tarefa apreende 2,5 toneladas de carne e outros produtos impróprios para consumo em MS**

Cerca de 2,5 toneladas de carne e outros produtos de origem animal impróprios para o consumo foram apreendidos entre os dias 5 e 9 de junho, nos municípios de Antonio João, Caracol e Nioaque, por uma força-tarefa.

Participaram da fiscalização, agentes da Delegacia Especializada de Repressão aos Crimes contra as Relações de Consumo (Decon) e fiscais da Agência Estadual de Defesa Sanitária Animal e Vegetal (Iagro), da Superintendência Federal da Agricultura (SFA/MS) e da Vigilância Sanitária do estado e dos municípios.

Segundo a Decon, a ação conjunta teve como foco a fiscalização de açougues e casas de carne nesses municípios. O objetivo foi prevenir e reprimir a comercialização de carne e outros produtos de origem animal, oriundos de abates clandestinos ou em desacordo com a legislação sanitária.

As cerca de 2,5 toneladas de produtos apreendidos nos estabelecimentos, por estarem sem inspeção, terem origem duvidosa ou estarem impróprios para o consumo, foram encaminhadas para a destruição nos próprios municípios em que foram recolhidas.

Riscos

Segundo o Mapa, consumir carne de procedência duvidosa, que não tenha passado pelos processos de controle e fiscalização sanitária, pode expor a saúde da população a uma série de riscos.

Os problemas mais comuns são as chamadas toxinfecções alimentares, que são provocadas pelo consumo de alimentos, no caso a carne, contaminados por bactérias ou suas toxinas, e que podem levar até mesmo à morte.

Disponível em: <<http://g1.globo.com/mato-grosso-do-sul/noticia/forca-tarefa-apreende-25-toneladas-de-carne-e-outras-produtos-improprios-para-consumo-em-ms.ghtml>>. Acesso em 13/06/2017.

Várias são as doenças que podem ser originadas do consumo de carne contaminada, como a brucelose, e a tuberculose, dependendo da carne e do tipo de contaminação. A ingestão de carne malcozida contaminada por cisticercos é causada por

- a) ovos de tênia.
- b) ovos de lombriga.
- c) larvas de tênia.
- d) larvas de *Ascaris*.
- e) proglotes de planária.

8. Unioeste-PR – Os alimentos fornecem aos organismos a energia necessária para a realização de seus processos celulares e metabólicos. Também são fontes de matéria-prima para o desenvolvimento e manutenção do organismo. A digestão é um processo fisiológico a partir do qual os alimentos são reduzidos a pequenas partículas absorvíveis e disponíveis para a utilização metabólica.

Considerando-se o processo da digestão e a estrutura do sistema digestório dos organismos, é correto afirmar que

- a) a digestão intracelular ocorre totalmente no interior da célula e o alimento fica armazenado em vacúolos digestivos, repletos de enzimas. Este tipo de digestão é exclusivo dos organismos unicelulares tais como bactérias e protozoários.

- b) em alguns animais, por exemplo, poríferos e cnidários, o alimento é parcialmente digerido no meio extracelular e depois o processo é finalizado no interior das células que revestem a cavidade digestiva.
- c) o sistema digestório é dito incompleto quando ele possui apenas uma abertura que se comunica com o meio externo através da qual os alimentos são captados e os restos não digeridos são eliminados. Ocorrem em cnidários e platelmintos.
- d) a bile é uma enzima digestiva produzida pelo fígado e armazenada na vesícula biliar, que tem a função de emulsificar as gorduras presentes no intestino delgado.
- e) o papo, uma dilatação do tubo digestivo, cuja função é umedecer e armazenar temporariamente o alimento ingerido, é exclusivo e característico do sistema digestório das aves.

9. Fepar-PR

Pesquisadores da Oregon State University descobriram um grupo de genes no caramujo *Biomphalaria glabrata*, que fornece uma resistência natural ao *Schistosoma mansoni*. Essa descoberta abre portas para o desenvolvimento de novas drogas ou maneiras de interromper o ciclo da esquistossomose. Na investigação, os pesquisadores mapearam um polimorfismo de resistência ao parasita em uma população caribenha dessa espécie de caramujo. Um alelo dominante presente no genoma do caramujo dessa região reduz em 8 vezes a probabilidade de infecção pelo parasita. Cogita-se utilizar os resultados dessa pesquisa para a criação de novos medicamentos. Atualmente, os remédios utilizados são a *oxamniquina* e *opraziquantel*; alternativamente, os pesquisadores podem tentar inserir na natureza os caramujos resistentes ao *Schistosoma mansoni* para bloquear o ciclo da doença.

Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/pesquisa-e-inovacao/noticia/2017-06>>. Acesso em: 8 jul. 2017.

Tendo como referência as informações do texto e conhecimentos sobre o assunto, julgue as afirmativas.

- () No ciclo de *Schistosoma mansoni*, o caramujo *Biomphalaria glabrata* atua como hospedeiro intermediário, pois em seu interior os miracídeos dão origem a esquistossômulos que se metamorfoseiam assexuadamente em cercárias.
- () Ao penetrar no organismo humano, as cercárias assumem o formato de esporocistos e podem se alojar na bexiga, pulmões, pâncreas e fígado, chegando ao estado adulto nos ductos hepáticos e no sistema porta-hepático.
- () Os *Schistosoma mansoni* adultos são vermes dioicos, com dimorfismo sexual evidente; durante o período de cópula, as fêmeas, mais longas e delgadas, se alojam no canal ginecóforo do macho, passando a produzir muitos ovos embrionados.
- () Durante o ciclo desse verme, as cercárias podem encistar-se na forma de metacercárias e permanecer nesse estado por longos períodos, até encontrar o hospedeiro intermediário adequado.
- () A introdução de caramujos resistentes não pode ser uma opção para rerao o número de indivíduos heterozigotos e homozigotos recessivos, que são suscetíveis à infecção pela cercaria de *Schistosoma*.

10. Faculdade Santa Marcelina-SP – *Ascaris lumbricoides* é a espécie que causa a ascariíase, ou doença da lombriga, uma parasitose que apresenta alta prevalência na população brasileira. Pessoas que apresentam infecções maciças do verme desenvolvem problemas hepáticos, pulmonares e intestinais. Esse nematódeo possui nítido dimorfismo sexual e é classificado como parasita monóxeno ou monogenético.

- a)** Qual é o principal modo de transmissão da ascariíase? Por que ocorrem problemas hepáticos e pulmonares em uma pessoa com essa verminose?

- b)** Cite uma característica visível a olho nu que confirma o dimorfismo sexual das lombrigas. Por que a lombriga é classificada como um parasita monóxeno ou monogenético?

11. FMP-SC

As verminoses formam um grupo de doenças causadas por vermes parasitas que se instalam no organismo. São causadas especialmente pela falta de saneamento básico e hábitos de higiene. Os vermes geralmente se alojam nos intestinos, mas podem abrigar-se também em órgãos, como o fígado, pulmões e cérebro. [...] Algumas das verminoses mais comuns são a ancilostomose, uma infecção intestinal causada por nematódeos e a teníase, provocada pela presença da forma adulta da *Taenia solium* ou da *Taenia saginata* no intestino delgado do homem.

Disponível em: <http://www.blog.saude.gov.br/index.php/57-perguntas-e-respostas/34424-conheca-as-principais-verminoses-que-atingem-o-ser-humano>. Acesso em: 17 jul. 2017. (Adaptado)

Os vermes citados no texto têm em comum a presença de

- a)** cavidade geral do corpo, durante o desenvolvimento embrionário, totalmente revestidos pelo mesoderma.
- b)** três folhetos embrionários, ectoderma, mesoderma e endoderma que surgem no processo de gastrulação.
- c)** tubo digestório incompleto, com a cavidade digestória possuindo uma única abertura.
- d)** sistema circulatório aberto com a hemolinfa circulando dentro e fora de vasos sanguíneos.
- e)** túbulos de Malpighi que excretam cristais sólidos de ácido úrico, substância praticamente insolúvel em água.

12. CPS-SP – Investir em saneamento básico é investir em saúde. O esgoto encanado é importante para melhorar o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), porque a ausência de tratamento de esgoto possibilita a contaminação da água, do solo e de alimentos com diversos organismos causadores de doenças.

Entre essas doenças, pode-se citar corretamente,

- a)** gripe, hepatite C e aids.
- b)** diarreias, cólera e verminoses.
- c)** leptospirose, dengue e varíola.
- d)** verminoses, gripe e elefantíase.
- e)** febre amarela, dengue e aids.

13. UFPR (adaptada)

Estima-se que, no mundo, mais de um bilhão de pessoas estão expostas a contrair verminoses transmitidas pelo solo contaminado e que aproximadamente 200 milhões de crianças apresentam deficiência de vitamina A. Dados recentes mostram que verminoses estariam associadas à deficiência de vitamina A. Alguns estudos dão respaldo a essa ideia, ao mostrar que a vermifugação aumenta a efetividade de tratamentos de suplementação vitamínica.

Fonte: *Trends in Parasitology*, January 2016, v. 32, n. 1.

- a) *Ascaris lumbricoides* e *Ancylostoma duodenale* são dois helmintos que podem ser transmitidos pelo solo contaminado. Como ocorre o seu contágio?

- b) Proponha uma hipótese para explicar a associação existente entre verminoses e deficiência de vitamina A.

14. Unicamp-SP – A esquistossomose mansônica é uma doença que afeta 7 milhões de brasileiros atualmente. A vacina contra este helminto está em fase pré-clínica de testes e foi desenvolvida por pesquisadores brasileiros.

- a) Quais são as formas infectantes para o hospedeiro vertebrado e para o hospedeiro invertebrado? Indique esses hospedeiros.

- b) Vacinas são estratégias profiláticas importantes no combate a infecções, porém, até o momento, não existem vacinas contra essa parasitose. Cite duas medidas profiláticas efetivas para o controle dessa infecção no homem.

15. UPF-RS (adaptada) – Alguns vermes são parasitas e infestam milhões de pessoas em todo o mundo, causando vários agravos à saúde. Associe cada verme da primeira coluna do quadro à(s) sua(s) característica(s) na segunda coluna, e, na terceira coluna, ao(s) órgão(s) do corpo humano parasitado(s) por esses vermes.

Vermes	Características	Órgãos parasitados pelo verme na fase adulta
1. <i>Taenia solium</i>	() alojamento da fêmea em sulco no corpo do macho	() vasos sanguíneos do fígado
2. <i>Schistosoma mansoni</i>	() simetria bilateral e corpo achatado	() vasos linfáticos
3. <i>Enterobius vermicularis</i>	() transmissão das larvas por mosquitos hematófagos	() intestino grosso
4. <i>Wuchereria bancrofti</i>	() simetria bilateral e corpo cilíndrico	() intestino delgado

Entre as alternativas abaixo, assinale aquela que apresenta, de cima para baixo, as seqüências corretas da segunda e da terceira coluna.

	Segunda coluna	Terceira coluna
a)	2 - 1 - 3 - 4	3 - 2 - 1 - 4
b)	4 - 2 - 3 - 1	2 - 1 - 4 - 3
c)	2 - 4 - 1 - 3	4 - 2 - 3 - 1
d)	3 - 1 - 4 - 2	3 - 4 - 1 - 2
e)	2 - 1 - 4 - 3	2 - 4 - 3 - 1

16. Fepar-PR (adaptada)

O mebendazol é um anti-helmíntico de amplo espectro, dotado de ação contra certos nematódeos, cestóides e trematódeos. Seu mecanismo de ação antiparasitário inibe de forma seletiva e irreversível a absorção da glicose pelo parasita: reduz o nível de ATP e a respiração, causando imobilização e morte lenta do parasita. Também pode inibir o metabolismo anaeróbico, fundamental para muitos helmintos. Além da ação vermícida, pode ser ovicida e larvicida. O medicamento apresenta bons resultados no tratamento de infestações isoladas ou mistas, causadas por *Ascaris lumbricoides*, *Trichuris trichiura*, *Enterobius vermicularis*, *Ancylostoma duodenale*, *Necator americanus*, *Taenia solium* e *Taenia saginata*.

Disponível em: <<https://www.portaleducacao.com.br/farmacia/artigos/81/mebendazol>>. Acesso em: ago. 2015. (Adaptado)

Considere as informações referidas no texto e avalie as afirmativas.

- () Um único hospedeiro humano de *Ascaris lumbricoides* pode abrigar até 600 indivíduos. Todos esses vermes são descendentes do primeiro casal que iniciou a colonização do intestino, pois as fêmeas podem colocar milhares de ovos por dia.
- () Ao ingerir larvas de *Taenia solium* ou *Taenia saginata* presentes em água, verduras e carnes contaminadas, o homem torna-se hospedeiro intermediário e pode desenvolver neurocisticercose.
- () *Ancylostoma duodenale* e *Necator americanus* têm em comum com *Ascaris lumbricoides* o fato de possuírem um único hospedeiro onde realizam um ciclo cardiopulmonar.
- () *Enterobius vermicularis*, *Ancylostoma duodenale* e *Necator americanus* parasitam exclusivamente o intestino delgado do hospedeiro. Esses vermes penetram no organismo humano pela sola dos pés ainda na fase larval.
- () O homem também pode ser o hospedeiro definitivo da *Taenia solium* e da *Taenia saginata*, quando ingerir carne suína e bovina malcozida contaminada com os cisticercos.

17. Fuvest-SP – O nematelminto *Ascaris lumbricoides* (lombriga) é um parasita que provoca graves danos à saúde humana.

a) Quantos hospedeiros o *Ascaris lumbricoides* tem durante seu ciclo de vida?

b) Em que fase de seu ciclo de vida o *Ascaris lumbricoides* entra no corpo humano?

c) Em que parte do corpo humano ocorre a reprodução do *Ascaris lumbricoides*?

d) Que medidas podem evitar a contaminação do ambiente por *Ascaris lumbricoides*?

ESTUDO PARA O ENEM

18. Enem

C8-H28

O rótulo do produto descreve características de uma doença que pode ser prevenida com o(a)

- a) uso de calçados. d) eliminação de água parada.
 b) aplicação de inseticida. e) substituição de casas de barro por de alvenaria.
 c) utilização de mosquiteiros.



Almanaque do Biotônico, 1935. Disponível em: www.miniweb.com.br. Acesso em: 22 abr. 2011 (adaptado).

19. Enem

C4-H14

Euphorbia mili é uma planta ornamental amplamente disseminada no Brasil e conhecida como coroa-de-cristo. O estudo químico do látex dessa espécie forneceu o mais potente produto natural moluscicida, a *miliamina* L.

MOREIRA, C. P. s.; ZANI, C. L.; ALVES, T. M. A. Atividade moluscicida do látex de *Synadenium carinatum* Boiss. () sobre *Biomphalaria glabrata* e isolamento do constituinte majoritário. *Revista Eletrônica de Farmácia*. n. 3, 2010 (adaptado).

O uso desse látex em água infestada por hospedeiros intermediários tem potencial para atuar no controle da

- a) dengue. d) ascaridíase.
 b) malária. e) esquistossomose.
 c) elefantíase.

20. Enem

C8-H28

Dupla humilhação destas lombrigas, humilhação de confessá-las a Dr. Alexandre, sério, perante irmãos que se divertem com tua fauna intestinal em perversas indagações: “Você vai ao circo assim mesmo? Vai levando suas lombrigas? Elas também pagam entrada, se não podem ver o espetáculo? E se, ouvindo lá de dentro, as gabarolas do palhaço, vão querer sair para fora, hem? Como é que você se arranja?” O que é pior: mínimo verme, quinze centímetros modestos, não mais — vermezinho idiota — enquanto Zé, rival na escola, na queda de braço, em tudo, se gabando mostra no vidro o novelo comprovador de seu justo gabo orgulhoso: ele expeliu, entre ohs! e ahs! de agudo pasmo familiar, formidável tênia porcina: a solitária de três metros.

ANDRADE, C. D. *Boitempo*. Rio de Janeiro: Guaiar, 1988.

O texto de Carlos Drummond de Andrade aborda duas parasitoses intestinais que podem afetar a saúde humana. Com relação às tênia, mais especificamente, a *Taenia solium*, considera-se que elas podem parasitar o homem na ocasião em que ele come carne de

- a) peixe mal-assada. d) boi mal-assada.
 b) frango mal-assada. e) carneiro mal-assada.
 c) porco mal-assada.

ANELÍDEOS

19

Os anelídeos, conhecidos popularmente como “vermes do solo” ou “vermes segmentados”, incluem representantes de hábitos terrestres, marinhos e de água doce. A minhoca, o anelídeo mais conhecido, possui grande importância ecológica por atuar na fertilização e aeração do solo, que resultam da sua locomoção e do uso de matéria orgânica em decomposição como alimento. A presença de minhocas indica uma boa qualidade do solo, e estudos recentes apontam que a distribuição de nitrogênio realizada pelas minhocas também melhora a produção agrícola.

As sanguessugas de água doce, em especial a espécie *Hirudo medicinalis*, são empregadas há séculos em tratamentos médicos, para remover o sangue em certas partes do corpo, método conhecido como sangria. Atualmente pesquisas procuram entender seu efeito em pacientes que possuem condições médicas específicas, como a osteoartrite, doença que causa inflamações e dores nas articulações. Uma das hipóteses apresentadas para explicar a diminuição dos sintomas é o coquetel de proteínas que esses anelídeos injetam nos hospedeiros por meio da saliva. Esse coquetel inclui anti-inflamatórios e a proteína hirundina, responsável por impedir a coagulação do sangue.

- Novidades evolutivas
- Características gerais
- Fisiologia
- Reprodução

HABILIDADES

- Identificar as características gerais e as novidades evolutivas dos grupos do filo Annelida.
- Reconhecer as características morfológicas e fisiológicas do filo Annelida.
- Compreender os mecanismos fisiológicos dos anelídeos.
- Comparar as classes de anelídeos quanto a fisiologia, morfologia e características gerais.

D. KUCHARSKI, K. KUCHARSKAJ, SHUTTERSTOCK



Minhoca terrestre, com destaque para os anéis que segmentam o corpo.

NOVIDADES EVOLUTIVAS

Há cerca de 15 mil espécies conhecidas no filo Annelida. São animais vermiformes, geralmente cilíndricos, de corpo dividido em anéis (segmentos ou metâmeros) que se repetem e por isso são denominados animais **metamerizados** (segmentados).

A metameria estende-se aos músculos da parede do corpo, a vários órgãos e sistemas internos e é uma novidade evolutiva dos anelídeos em relação aos demais filos animais já estudados, sendo encontrada também em artrópodes e cordados.



Sanguessuga *Hiruda medicinalis*, em vista ventral.

O surgimento da metameria possibilitou maior complexidade estrutural e funcional, como a movimentação independente de diferentes segmentos do corpo. Nos anelídeos, permitiu também o aumento da eficiência do comportamento de escavação, e esse aumento da complexidade de movimentos evoluiu de maneira associada ao sistema nervoso.

Entre os anelídeos, além das minhocas e das sanguessugas, existe um grande número de espécies marinhas e de água doce. Entre os representantes marinhos, destacam-se os **poliquetas**, que possuem tamanhos e cores bastante variáveis, desde formas diminutas até espécies com 3 m de comprimento, como a *Eunice gigantea*.

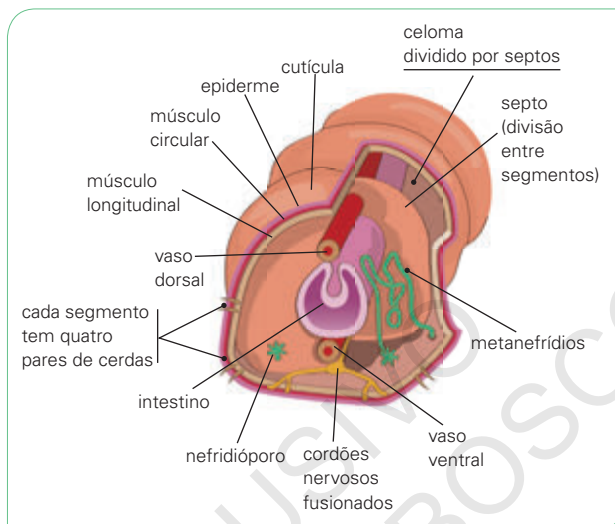


Poliqueta marinho que vive em tubo secretado pelo próprio animal (*Spirobranchus* sp.). A estrutura em "forma de árvore" são os tentáculos.

CARACTERÍSTICAS GERAIS

Anelídeos são animais protostômios, triblásticos, enterozoários completos, bilateralmente simétricos e **celomados**. O celoma dos anelídeos forma-se a partir de uma fenda na mesoderme, que fica ao lado do intestino. Esse tipo de celoma é chamado de **esquizocélico**. O celoma é uma cavidade corporal, totalmente revestida por mesoderme, na qual os órgãos internos ficam alojados. Nesses animais de corpo mole, o grande celoma preenchido por fluido funciona como **esqueleto hidrostático**, servindo de suporte para a ação muscular e compensação

pela ausência de um esqueleto rígido. O celoma também participa da distribuição de substâncias pelo corpo.



Corte transversal de um metâmero (segmento) do corpo de uma minhoca. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Anelídeos têm o corpo revestido por uma **cutícula** úmida, fina e transparente, secretada pela epiderme. Na maioria das minhocas, cada compartimento celomático se comunica com o meio externo através de um **poro dorsal**, pelo qual pode sair fluido celomático, ajudando a manter o tegumento úmido.

A maioria dos anelídeos, com exceção das sanguessugas, possui **cerdas** — expansões laterais curtas e em forma de agulha constituídas de quitina — que são utilizadas na locomoção (formas marinhas nadadoras utilizam parapódios), ou para auxiliar na ancoragem do animal ao substrato durante a locomoção.



Anelídeo marinho do gênero *Hermodice* (verme-de-fogo). As cerdas estão adaptadas em parapódios (estruturas brancas ao redor do corpo) que auxiliam na locomoção.

Uma minhoca adulta apresenta, em média, 150 metâmeros e não há cabeça diferenciada. A boca é recoberta por uma estrutura carnosa chamada **prostômio**, que se abre na extremidade anterior do corpo, e o ânus é uma fenda na região posterior (pigídio).

Minhocas e sanguessugas possuem uma estrutura chamada **clitelo**, que consiste em um grupo de segmentos com espessamento da epiderme, geralmente formando uma faixa de coloração mais clara em torno da porção anterior do corpo, com muitas glândulas. O clitelo produz

o muco, importante durante o acasalamento, e o **casulo** (estrutura que armazena os ovos após a fecundação), de grande importância durante a reprodução.

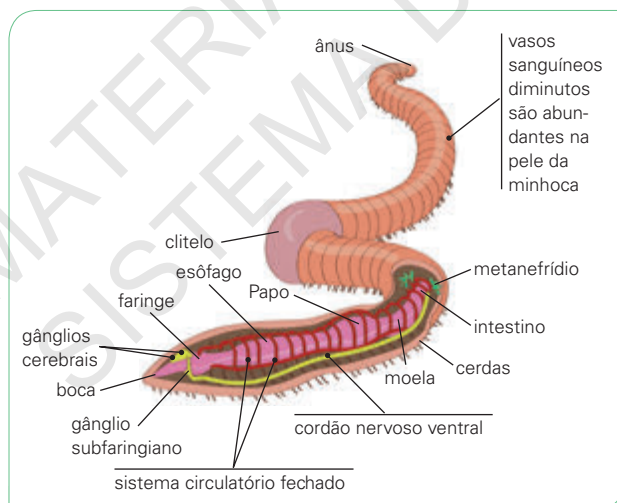


Minhoca comum, *Lumbricus terrestris* (classe Oligochaeta).

A locomoção ocorre pela alternância das contrações da musculatura longitudinal e circular. Nas minhocas, os músculos trabalham de forma antagônica, de modo que, quando as fibras longitudinais se contraem, a musculatura circular relaxa, e vice-versa. Desse modo, a minhoca realiza os movimentos característicos de rastejar e de escavar.

FISIOLOGIA

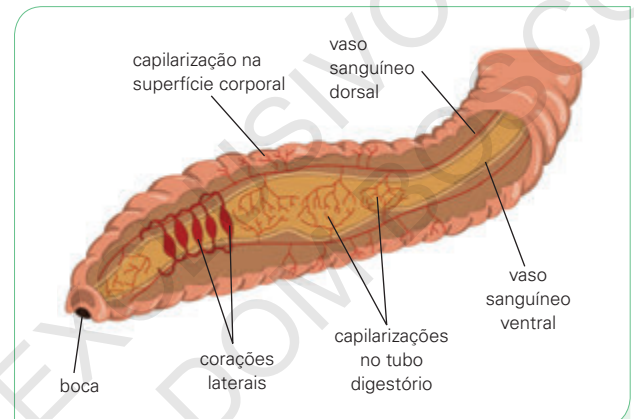
Anelídeos possuem sistema digestório completo, formado por boca, faringe, esôfago, intestino e ânus. Podem ser detritívoros, carnívoros ou parasitas. Algumas formas ectoparasitas alimentam-se de sangue e fluidos de outros animais. Seu tubo digestório tem algumas regiões especializadas. A **faringe** é uma estrutura sugadora, que impulsiona para dentro o alimento ingerido pela boca. Temporariamente armazenado no **papo**, o alimento passa para a **moela** — órgão muscular responsável pela trituração do alimento ingerido. A absorção dos nutrientes realiza-se nos **cecos intestinais** e na **tiflosole** — expansões capazes de aumentar enormemente a área intestinal disponível para a absorção de nutrientes.



Anatomia interna da minhoca. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Fonte: REECE et al. *Biologia de Campbell*. 10. ed. São Paulo: Artmed, 2015. p. 698.

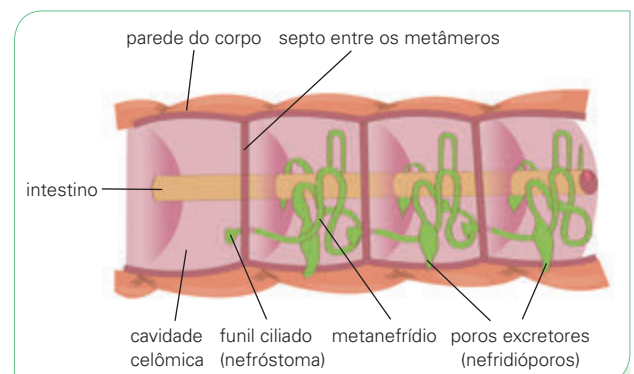
São os primeiros animais ao longo da evolução a apresentar **sistema circulatório fechado**. Nas minhocas o sangue impulsionado pelos vários corações (arcos aórticos) circula sempre no interior de vasos sanguíneos; ele contém pigmento transportador de oxigênio, a **hemoglobina**. Na passagem dos vasos pela epiderme ocorrem trocas gasosas com o meio pela **respiração cutânea**. Entre os poliquetas, é comum a presença de **brânquias** — áreas expandidas e ricamente vascularizadas na superfície externa do corpo — que pode estar presente em parapódios e tentáculos; quando presentes, as brânquias realizam as trocas gasosas com a água.



Representação do sistema circulatório dos anelídeos. As setas indicam a direção do fluxo de sangue. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Fonte: LOPES, Sonia.; ROSSO, Sergio. *Bio*. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2013. p. 259. v. 3.

A excreção é feita por **nefrídios**, também chamados de **metanefrídios** — estruturas que lembram um longo funil ciliado cuja abertura (**nefróstoma**) se conecta à cavidade celomática. Em cada segmento do corpo da minhoca há **um par de nefrídios**, responsáveis pela retirada dos resíduos metabólicos do celoma e do sistema circulatório. Os resíduos são eliminados através de poros na superfície corporal denominados **nefridióporos**. Os poros excretórios e as aberturas reprodutivas são diminutos orifícios na superfície corporal.



Representação do sistema excretor da minhoca. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Fonte: LOPES, Sonia.; ROSSO, Sergio. *Bio*. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2013. p. 259. v. 3.

Anelídeos possuem sistema nervoso ganglionar desenvolvido, formado por um par de gânglios maiores, os **gânglios cerebrais**, localizados na região anterior do corpo, em posição dorsal à faringe muscular. Os gânglios cerebrais formam um anel nervoso em torno da faringe que se une ventralmente (gânglio subfaringiano) e de onde partem um par de cordões nervosos longitudinais e um par de gânglios nervosos por segmento do corpo.

CLASSIFICAÇÃO

Tradicionalmente, os anelídeos são classificados em três classes: Oligochaeta (minhocas), Achaeta ou Hirudinea (sanguessugas) e Polychaeta (poliquetas). A principal característica morfológica utilizada nessa classificação são a presença e o número de cerdas no corpo dos animais.

CLASSE OLIGOCHAETA

O nome do grupo se refere ao pequeno número de cerdas presente no corpo; são **poucas cerdas por segmento** (geralmente quatro pares). A cabeça ou região anterior do corpo geralmente não é diferenciada. Externamente, destaca-se o clitelo.

Entre os oligoquetas mais conhecidos estão a *Lumbricus terrestris* (minhoca-comum); *Pheretima hawayana* (minhoca-doida); *Eisenia andrei* (minhoca-vermelha-da-califórnia); o *Rhinodrilus alatus* (minhocuçu, espécie que pode atingir mais de 2 m de comprimento); e *Tubifex* (gênero de espécies de água doce).



FABIO COLOMBINI

O minhocuçu (*Rhinodrilus alatus*) é também conhecido como a "minhoca gigante". Em razão de seu grande porte, muitas vezes é confundido com serpentes ou anfíbios como a cobra-cega (*Amphisbaena* sp.).

Ao escavar túneis e galerias no solo e se alimentar de restos de matéria orgânica, as minhocas eliminam excretas ricas em nutrientes, entre eles o nitrogênio, formando o húmus, que auxilia na retenção de umidade pelo solo e fornece nutrientes para o desenvolvimento das plantas. Além disso, as galerias escavadas pelas

minhocas facilitam a aeração do solo, contribuindo para o desenvolvimento das raízes das plantas. Assim, as minhocas desempenham papel fundamental na decomposição e ciclagem de nutrientes.

CLASSE POLYCHAETA

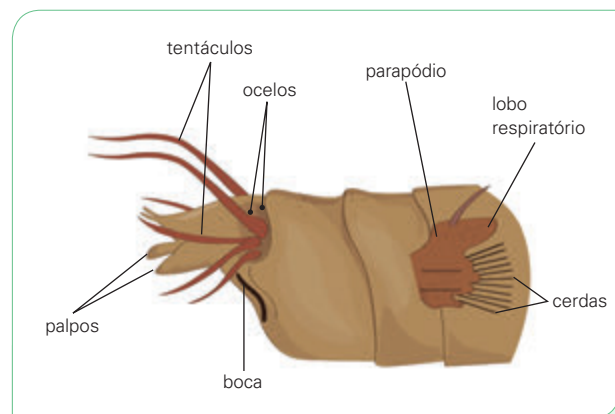
Poliquetas possuem **várias cerdas** em cada segmento do corpo, que estão muitas vezes inseridas em parapódios (do grego: *para*, semelhante; e *podos*, pé). A maioria dos poliquetas é de espécies marinhas, havendo espécies sedentárias e errantes (que se deslocam). Alguns vivem em pequenos túneis nas areias das praias, escavados pelo próprio animal; há espécies predadoras que rastejam no fundo do mar, capturando pequenos animais como alimento.



PHOTOWIND/SHUTTERSTOCK

Poliqueta marinho predador (*Nereis* sp.).

Entre os poliquetas mais conhecidos estão as espécies dos gêneros *Nereis*, *Eunice* e *Sabella* (poliquetas de tubo). Os poliquetas geralmente têm a cabeça diferenciada, contendo tentáculos, boca e estruturas sensoriais. Em cada segmento do corpo há um par de parapódios com várias cerdas.



Morfologia externa da região anterior de um poliqueta. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

CLASSE ACHAETA OU HIRUDINEA

A maioria das espécies é de ambiente de água doce. São desprovidos de cerdas e de parapódios. Externamente possuem uma ventosa na região posterior, utilizada na locomoção, e uma ventosa na região anterior, ao redor da boca, utilizada para sugar o sangue (espécies ectoparasitas). Têm clitelo e apresentam um

número fixo de segmentos no corpo (geralmente 30 ou 34). Boa parte das sanguessugas é ectoparasita e vertebrada, mas também há espécies predadoras e detritívoras.



SALPARADIS/SHUTTERSTOCK

As sanguessugas utilizam as ventosas para se deslocar.

O representante mais conhecido é a espécie *Hirudo medicinalis*, sanguessuga muito utilizada antigamente para fins terapêuticos em técnicas denominadas sangrias. A faringe da sanguessuga atua como uma potente bomba sugadora de sangue.



MARTIN PELANEK/SHUTTERSTOCK

Sanguessuga se alimentando de sangue.

REPRODUÇÃO

Anelídeos realizam somente reprodução sexuada. Minhocas e sanguessugas são espécies monoicas ou hermafroditas; poliquetas são, em sua maioria, dioicos.

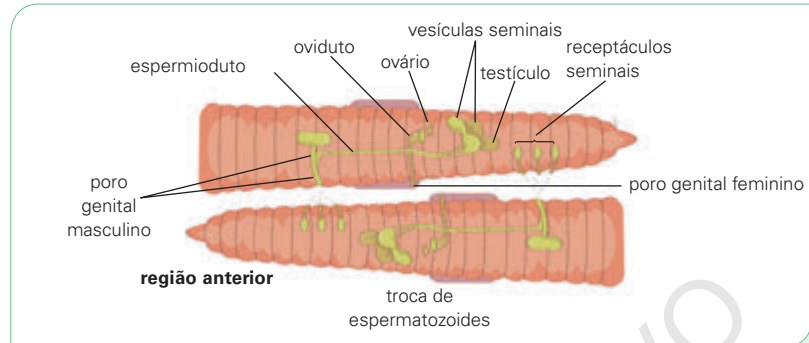
Embora monoicas, minhocas e sanguessugas têm fecundação cruzada. Durante a cópula, os animais se pareiam, e o poro genital masculino de um indivíduo conecta-se ao receptáculo seminal do outro indivíduo para a transferência dos espermatozoides. O muco secretado pelo clitelo mantém os indivíduos unidos durante a cópula.



MAJNA/SHUTTERSTOCK

Acasalamento entre minhocas (*Lumbricus terrestris*).

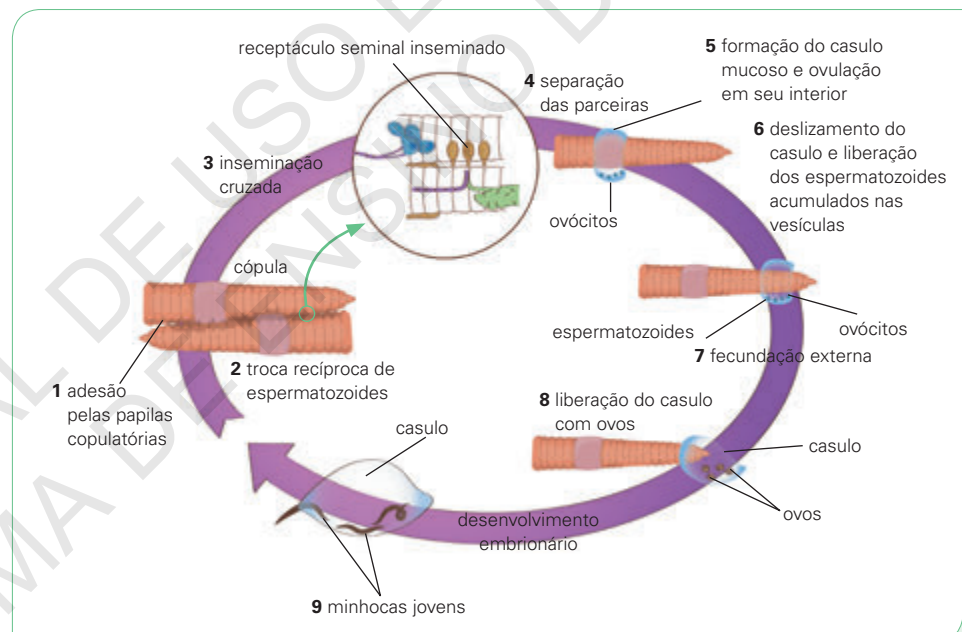
Posteriormente, ao redor do clitelo forma-se o casulo — bolsa gelatinosa onde os ovócitos são depositados através do poro genital feminino.



Representação do sistema reprodutor das minhocas. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Fonte: AMABIS, José M.; MARTHO, Gilberto R. *Biologia*. 3. ed. São Paulo: Moderna, 2010. p. 207. v. 2.

O casulo formado é deslocado para a região anterior do corpo por meio de contrações da musculatura e, ao passar pelas aberturas dos receptáculos seminais, recebe os espermatozoides, ocorrendo assim a fecundação externa. O desenvolvimento, no interior dos ovos, é direto, e os ovos formados permanecem no casulo, que é despreendido do corpo do progenitor. Na eclosão, são liberados indivíduos com características do adulto em miniatura.



Representação da reprodução sexuada em minhocas. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Fonte: LOPES, Sonia.; ROSSO, Sergio. *Bio*. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2013. p. 262. v. 3.

Nos poliquetas, que são dioicos, a fecundação é cruzada e externa, havendo a passagem por um estágio larval; portanto, seu desenvolvimento é indireto. A larva é chamada trocófora.

ROTEIRO DE AULA

ANNELIDA

Novidades evolutivas

Excreção

metanefrídeos

Esqueleto

hidrostático

Sistema nervoso

ganglionar

Características gerais

Ambientes terrestres úmidos

Blastóporo origina:
boca

triblásticos

Simetria

bilateral

Corpo protegido por:

cutícula

cerdas

Enterozoários completos

Fisiologia

Excreção

metanefrídios

Respiração

cutânea e/ou branquial

Sistema circulatório

fechado

Sistema nervoso

ganglionar

Tubo digestivo

completo

Reprodução

Sexuada

monoicos ou díocos

Fecundação:
interna e externa

Classificação

Oligochaeta

POUCAS CERDAS

presença de clitelo

minhocas

Hirudinea (Achaeta)

cerdas ausentes

presença de clitelo

sanguessugas

Polychaeta

muitas cerdas, parapódios

clitelo ausente

poliquetas

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. Sistema Dom Bosco – Entre as alternativas abaixo, assinale aquela que contém características encontradas nos anelídeos.

- a) Cnidócito e cerda.
- b) Célula-flama e metâmero.
- c) Celoma e coanócito.
- d) Rádula e gânglio cerebral.
- e) Clitelo e parapódio.

O clitelo é uma estrutura relacionada à reprodução e está presente em minhocas (oligoquetas) e sanguessugas (hirudíneos). Os parapódios são expansões laterais do corpo onde as cerdas estão inseridas e são encontrados em poliquetas.

2. Sistema Dom Bosco – O filo Annelida compreende os grupos das minhocas, sanguessugas e poliquetas. Assinale a alternativa que preenche corretamente as lacunas abaixo.

_____ é uma estrutura encontrada em _____ e é constituída por quitina.

- a) Cutícula; minhocas
- b) Parapódio; poliquetas
- c) Cutícula; minhocas e sanguessugas
- d) Cerda; sanguessugas e poliquetas
- e) Cerda; minhocas e poliquetas

As cerdas são estruturas de quitina encontradas na superfície do corpo de minhocas e poliquetas. Sanguessugas (hirudíneos ou aquetas) não possuem cerdas. A cutícula é um revestimento externo da superfície corporal dos anelídeos secretada pela epiderme; sua constituição não apresenta quitina.

3. Unisa-SP (adaptada) – Analise os seguintes animais invertebrados.



CHOKSAMATDIKORN/SHUTTERSTOCK

KZWWW/SHUTTERSTOCK



AIRINLAIM/SHUTTERSTOCK

A minhoca e o caracol são animais celomados e a planária é um animal acelomado. Quais as principais funções do celoma?

O celoma é uma cavidade corporal preenchida por fluido que aloja os

órgãos internos do animal, pode contribuir para a distribuição de subs-

tâncias e desempenhar o papel de esqueleto hidrostático.

4. Imed-RS (adaptada) – A alternativa que contempla a principal novidade evolutiva dos anelídeos em relação aos platelmintos, nematelmintos e cnidários é:

- a) Metameria.
- b) Brânquias.
- c) Gânglios nervosos.
- d) Rádula.
- e) Celoma.

A novidade evolutiva dos representantes do filo dos anelídeos em relação aos demais grupos (platelmintos, nematelmintos e cnidários) é o corpo segmentado, ou metamerizado.

5. Univalle-MG – Em relação aos anelídeos, assinale a alternativa incorreta:

- a) Possuem tubo digestivo completo.
- b) Apresentam, exclusivamente, respiração cutânea.
- c) Realizam o processo de excreção através de nefrídios.
- d) Possuem sistema nervoso ganglionar e ventral.
- e) Apresentam o corpo totalmente segmentado.

Anelídeos, como a minhoca e a sanguessuga, apresentam respiração cutânea e poliquetas apresentam respiração branquial.

6. Sistema Dom Bosco – Nos animais triblásticos, pode ou não existir celoma, a cavidade geral do corpo que serve de espaço para os órgãos internos. Quando não há celoma, os animais são ditos acelomados, como é o caso dos platelmintos. Ao longo da história evolutiva, os anelídeos foram os primeiros animais a apresentar essa cavidade.

Explique o que é um celoma esquizocélico.

O celoma é uma cavidade corporal revestida por mesoderme, que abri-

ga os órgãos internos. Os anelídeos estão entre os primeiros animais

celomados. Há dois tipos principais de celoma, o esquizocélico e o

enterocélico. Durante o desenvolvimento embrionário, o celoma es-

quizocélico é formado a partir de uma fenda na mesoderme localizada

ao lado do intestino.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. UFJF-MG –

Estudo que contou com a participação de um pesquisador brasileiro revela que a presença das minhocas no solo aumenta a produtividade agrícola. O resultado mostra que a presença das minhocas aumentou a produtividade de grãos e a biomassa aérea de plantas, afirma George Brown, pesquisador em ecologia do solo da Embrapa Florestas (PR). “O resultado era esperado”, afirma Brown. “Há centenas de anos as minhocas são consideradas aliadas do agricultor, ajudando no crescimento das plantas. Contudo, o que não sabíamos ainda era a dimensão do efeito positivo, nem como ele funcionava”.

Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2057172/minhocas-aumentam-produtividade-agricola>>.
Acesso em: 4 out. 2016. (Adaptado)

Leia as afirmativas a seguir:

- I. As minhocas vivem em galerias escavadas no solo e a sua atividade de escavação melhora a textura e a estrutura do solo tornando-o mais poroso e aerado.
- II. As minhocas se alimentam da matéria orgânica disponível no substrato, acelerando a sua decomposição e reincorporação ao solo.
- III. As minhocas são predadores que se alimentam de invertebrados do solo prejudiciais para as plantas, ajudando, assim, no controle de pragas de plantações.
- IV. Os excrementos das minhocas são ricos em nitrogênio, um dos nutrientes mais importantes para o crescimento das plantas.
- V. As fezes das minhocas, quando incorporadas ao substrato, formam o húmus, um excelente adubo natural.

Assinale a alternativa com as afirmativas corretas:

- a) Somente I, II, IV, V.
- b) Somente II, IV, V.
- c) Somente I, II, III, IV.
- d) Somente I, III, IV, V.
- e) Somente I, III, IV.

8. **Sistema Dom Bosco** – O filo Annelida compreende os grupos das minhocas, sanguessugas e poliquetas. Em relação à reprodução, minhocas e sanguessugas são bastante similares. Seus representantes são espécies _____ que realizam fecundação _____ e _____, e apresentam desenvolvimento _____.

Assinale a alternativa que preenche, correta e respectivamente, as lacunas acima.

- a) monoicas; interna e cruzada; indireto
- b) dioicas; externa e cruzada; direto
- c) monoicas; interna e cruzada; direto
- d) dioicas; interna e cruzada; indireto
- e) monoicas; externa e cruzada; indireto

9. **Sistema Dom Bosco** – Ao longo da história evolutiva dos animais é observado um aumento da complexidade de características e funções. O surgimento do celoma possibilitou que os órgãos pudessem ser devidamente armazenados em um compartimento, enquanto a metameria trouxe como vantagem a independência e a mobilidade de diferentes segmentos do corpo. O sistema circulatório fechado, por sua vez, é conside-

rado mais eficiente em razão da maior velocidade de transporte do sangue.

Assinale a alternativa que compreende animais com celoma, metameria e sistema circulatório fechado.

- a) Lombriga e platelmintos.
- b) Planária e cnidários.
- c) Anêmona-do-mar e nematódeos.
- d) Minhoca e sanguessuga.
- e) Polvo e nematódeos.

10. **Sistema Dom Bosco** – O uso de composteiras domésticas para a produção de composto orgânico tem se tornado comum, e cascas de frutas e legumes são os resíduos do dia a dia mais indicados. A presença de minhocas acelera a decomposição dos resíduos e deixa o solo mais aerado e fértil, pois libera nitrogênio no sistema. Para adquirir minhocas para composteiras domésticas não há preocupação em obter machos e fêmeas, só é preciso que estas sejam da mesma espécie.



MOROZOV ALEXEY/SHUTTERSTOCK

Descreva, sucintamente, como ocorre a reprodução sexuada em minhocas e nos outros grupos de anelídeos.

11. **CPS-SP** – Os vegetais precisam respirar. Para tanto, eles absorvem gás oxigênio do ambiente. Essa absorção ocorre principalmente através de suas folhas e de suas raízes.

Assim, o solo precisa ter certa quantidade de ar para que as raízes possam absorver o gás oxigênio. Considerando esse aspecto, podemos afirmar que as minhocas prestam um importante serviço ecológico, pois contribuem para o arejamento do solo.

As minhocas estão sempre cavando túneis e revolvendo a terra à procura de restos orgânicos, dos quais se alimentam, deixando a terra fofa e arejada. Além disso, esses túneis facilitam a drenagem das águas das chuvas.

Em solos muito duros, normalmente não há minhocas, principalmente porque ali elas não conseguem cavar as suas galerias. Não existindo esses animais, a terra terá menos húmus e menos gás oxigênio e, portanto, oferecerá menos recursos para a vida vegetal.

Sobre esses animais, é correto afirmar que

- a) são invertebrados, de vida parasitária, como as lombrigas e as sanguessugas.
- b) possuem corpo cilíndrico, não segmentado e respiram por meio de brânquias.
- c) favorecem a agricultura, pois produzem o gás oxigênio necessário à respiração das raízes dos vegetais.
- d) sintetizam a matéria orgânica de que necessitam para sobreviver a partir dos minerais que absorvem do solo.
- e) rastejam e cavam túneis graças à contração e distensão coordenadas dos músculos de cada segmento do corpo.

12. Uece – Em uma aula de campo na Serra de Baturité, um estudante de biologia coletou um animal de aspecto vermiforme. Porém, ao chegar ao laboratório para realizar a identificação do material, o aluno ficou em dúvida se o mesmo era representante do Filo Annelida ou Nematoda. Para decidir entre as duas opções o estudante deverá observar a presença de

- a) Simetria bilateral.
- b) Segmentação corporal.
- c) Sistema digestivo completo.
- d) Sistema nervoso presente.

13. Mackenzie-SP (adaptada) – A respeito da excreção, assinale a alternativa correta.

- a) Os metanefrídios são as estruturas excretoras presentes nos anelídeos, retirando excretas da cavidade celomática e do sangue.
- b) Os poríferos possuem um sistema excretor que não depende do fluxo de água que passa pelo corpo.
- c) Os cnidários e os platelmintos não possuem sistema excretor, e sua excreção é realizada por difusão simples através da parede do corpo.
- d) Estruturas responsáveis pela excreção estão presentes em todos os metazoários.
- e) Os protonefrídios, constituídos pelas células-flama, são as estruturas excretoras dos nematódeos.

14. UEM-PR (adaptada) – Sobre algumas adaptações dos animais, analise as afirmativas abaixo.

- I. Anelídeos aquáticos, representados pelas minhocas; e cnidários, representados pelos crustáceos apresentam expansões externas de superfície, denominadas brânquias, usadas para trocas gasosas.
- II. As minhocas apresentam uma prega longitudinal interna, posterior aos cecos, na parte superior do intestino, denominada tiflosole, que tem a função

de aumentar a área intestinal para facilitar a absorção dos nutrientes.

III. O clitelo presente em certos poliquetas tem por função auxiliar na locomoção.

a) Quais afirmativas estão corretas?

b) Corrija as afirmativas incorretas, tornando-as verdadeiras.

15. UEL-PR – É comum, quando pessoas entram em lagoas do Pantanal, anelídeos sanguessugas se fixarem na pele para se alimentarem. Para isso, utilizam uma ventosa oral que possui pequenos dentes afiados que raspam a pele, provocando hemorragia.

Com relação às sanguessugas, considere as afirmativas a seguir.

- I. Contêm um par de nefrídio individualizado para cada segmento corporal.
- II. São celomados com inúmeros segmentos iguais separados internamente por septos transversais membranosos.
- III. Da mesma forma que as minhocas, as sanguessugas apresentam cerdas para a locomoção.
- IV. Assim como nas minhocas, os órgãos são irrigados por uma rede contínua de capilares que se estende sob a epiderme.

Assinale a alternativa correta.

- a) Somente as afirmativas I e II são corretas.
- b) Somente as afirmativas I e III são corretas.
- c) Somente as afirmativas III e IV são corretas.
- d) Somente as afirmativas I, II e IV são corretas.
- e) Somente as afirmativas II, III e IV são corretas.

16. Sistema Dom Bosco – Os filos Platyhelminthes, Nematoda, Annelida e Mollusca compreendem animais protostômios e triblásticos. Assinale a alternativa que contém características presentes em anelídeos e nematódeos.

- a) Celoma e metanefrídios.
- b) Cutícula e metâmeros.
- c) Sistema circulatório fechado e celoma.
- d) Metâmeros e tubo digestório completo.
- e) Tubo digestório completo e cutícula.

17. UEPG-PR (adaptada) – Com relação às características gerais e aspectos anatômicos e fisiológicos dos anelídeos, analise as afirmativas abaixo.

- 01)** Entre os anelídeos, os oligoquetas possuem uma cabeça diferenciada, onde há vários apêndices sensoriais. Nesse aspecto se distinguem dos poliquetas, que não têm cabeça diferenciada.
- 02)** A excreção da minhoca e de outros anelídeos é executada pelos metanefrídios. Cada metanefrídio é um tubo fino e enovelado, com um funil ciliado em uma extremidade, o nefróstoma, o qual se abre na cavidade celomática. A outra extremidade do metanefrídio, o nefridióporo, se abre na superfície do corpo do animal.
- 04)** O sistema nervoso de um anelídeo é constituído por um único cérebro central de onde emergem vários cordões nervosos ventrais. Esses cordões nervosos ventrais se ligam às dezenas de gânglios nervosos de cada metâmero.

08) Os movimentos de escavação e locomoção dos anelídeos resultam da ação do líquido celomático como esqueleto hidrostático.

a) Quais itens estão corretos?

b) Corrija as afirmativas incorretas, tornando-as verdadeiras.

ESTUDO PARA O ENEM

18. Sistema Dom Bosco

C4-H16

Verme de 500 milhões de anos ajuda a entender evolução das minhocas

Ele não tem olhos. No lugar, brotam dois tentáculos. Seu corpo é repleto de cerdas, como em um filhote alienígena de uma minhoca com uma escova. Esse bicho estranho, *Kootenayscolex barbarensis*, que viveu há 500 milhões de anos, teve seu fóssil recém-descoberto por pesquisadores do Canadá. (...) A descoberta é importante pois biólogos ainda sabem pouco sobre a evolução de animais de corpo mole, como as minhocas, já que seus fósseis são bem menos comuns que de animais com ossos, como dinossauros, e não se sabe direito como se pareciam na origem e como se transformaram ao longo do tempo."

Disponível em: <<https://revistagalileu.globo.com/Ciencia/noticia/2018/01/verme-de-500-milhoes-de-anos-ajuda-entender-evolucao-das-minhocas.html>>. Acesso em: jan. 2019.

Considerando as novidades evolutivas dos anelídeos, é possível encontrar quais características nesse fóssil que estão ausentes nos platelmintos e nematódeos?

- a)** Tubo digestório completo e cutícula.
- b)** Cutícula e metameria.
- c)** Tubo digestório completo e celoma.
- d)** Celoma e metameria.
- e)** Três folhetos embrionários e tubo digestório completo.

19. UFRN (adaptada)

C8-H29

A atividade das minhocas favorece a agricultura, pois reduz a compactação e facilita a aeração do solo. Entretanto, em função das características climáticas do semiárido nordestino, o uso de minhocas na lavoura não é recomendado devido à baixa sobrevivência desses animais na região. Isso ocorre porque há

- a)** aumento da absorção de gás carbônico, aumentando o metabolismo.
- b)** redução da difusão de oxigênio, aumentando a de gás carbônico.
- c)** redução da concentração do sangue, diminuindo a difusão de oxigênio.

- d)** aumento da desidratação, prejudicando a respiração.
- e)** diminuição do gasto energético, aumentando a demanda de oxigênio.

20. Sistema Dom Bosco

C8-H28

Leia a tirinha a seguir.



GARFIELD, JIM DAVIS ©
2000 PAWS, INC. ALL RIGHTS
RESERVED / DIST. BY ANDREWS
MCMEEEL SYNDICATION

Representante do grupo dos anelídeos, as minhocas possuem sistema digestório completo. Além da produção de húmus, composto resultante da alimentação delas, sabe-se que no sistema digestório dos anelídeos

- a)** a tifossóle promove o aumento da área de absorção de nutrientes.
- b)** a boca das minhocas possui uma estrutura sugadora chamada prostômio.
- c)** o alimento é armazenado temporariamente na moela e triturado no papo.
- d)** as sanguessugas possuem estruturas especializadas em raspar a pele do hospedeiro para sugar sangue.
- e)** são conhecidas espécies de anelídeos detritívoros e carnívoros, apenas.

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO



BLEND IMAGES / ALAMY STOCK PHOTO

MATERIAL DE ESTUDO
SISTEMA DE ENSINO BOSCO

BIOLOGIA 2B

CIÊNCIAS DA NATUREZA E SUAS TECNOLOGIAS

20

MOLUSCOS

- Características gerais
- Morfologia
- Fisiologia
- Classificação

HABILIDADES

- Identificar as principais características e as novidades evolutivas do filo Mollusca.
- Reconhecer as características morfológicas e fisiológicas do filo Mollusca.
- Comparar as características adaptativas das classes de moluscos quanto a fisiologia, morfologia e características gerais.

Moluscos são animais de corpo mole, entre os quais estão caracóis, lesmas, mexilhões, ostras, polvos e lulas. Representam o segundo maior filo animal em diversidade, depois dos artrópodes.

Nessa enorme diversidade de moluscos, são encontradas espécies muito interessantes e importantes sob as perspectivas econômica, ecológica e científica. Um exemplo são as lulas do gênero *Loligo*, utilizadas como modelo biológico para se compreender o funcionamento dos neurônios. Esses animais foram escolhidos por apresentar fibras nervosas (axônios) gigantes, característica bastante favorável para esse tipo de estudo. As pesquisas possibilitaram a compreensão dos fundamentos da propagação dos impulsos nervosos (potencial de ação), tanto entre os neurônios, quanto ao longo de um mesmo neurônio. Os estudos foram tão importantes para a neurociência, que renderam aos pesquisadores britânicos Alan Lloyd Hodgkin (1914-1998) e Sir Andrew Fielding Huxley (1917-2012) o Prêmio Nobel de Medicina e Fisiologia de 1963.

Os cefalópodes (polvos e lulas) também são excelentes modelos biológicos para estudos sobre aprendizado, inteligência e comportamento animal. São considerados uns dos mais inteligentes seres entre os invertebrados. Além disso, diversos estudos demonstraram que os cefalópodes têm grande capacidade de aprendizado por meio da observação.



A lula-de-humboldt (*Dosidicus gigas*) é um enorme molusco do leste do Oceano Pacífico. Pode medir até 1,5 m e pesar 45 kg.

CARRIE VONDERHAAR/OCEAN FUTURES SOCIETY

CARACTERÍSTICAS GERAIS

O filo Mollusca (do latim *molluscus* = mole) inclui mais de 100 mil espécies vivas e pelo menos 35 mil outras já extintas. A história geológica do grupo está bem documentada pelo fato de seus representantes geralmente apresentarem uma concha calcária, o que aumenta significativamente as chances de preservação.

Esse grupo é bastante heterogêneo. Geralmente de vida livre, a maioria dos membros do filo é marinha, mas também há espécies adaptadas a ambientes de água doce e terrestre. Compreende tanto formas sedentárias como organismos de locomoção rápida, como polvos e lulas.



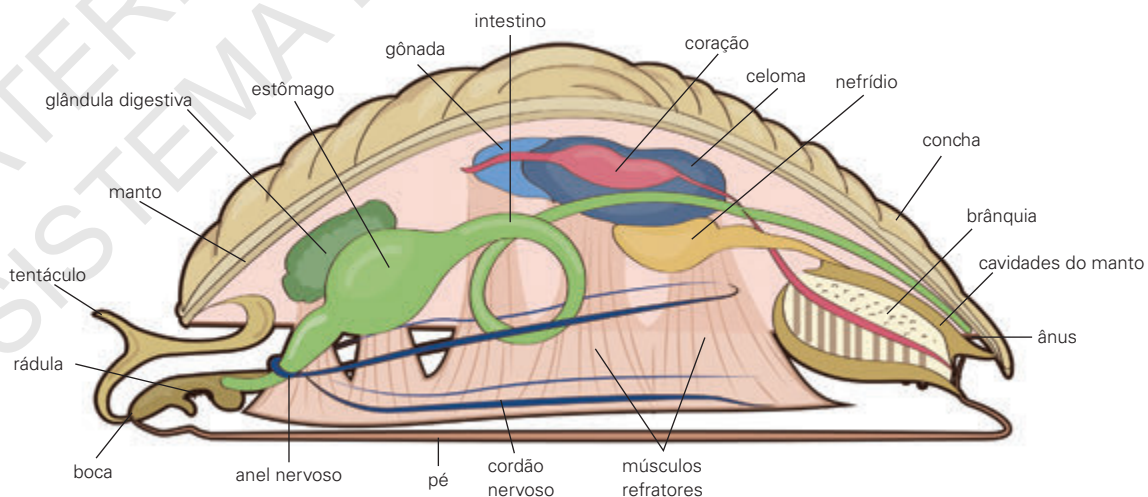
Exemplos de moluscos terrestres e aquáticos da classe Gastropoda. À esquerda, caramujo-gigante africano (*Achatina fulica*), espécie exótica introduzida no Brasil. Ao centro, nubibrânquios conhecidos como lesmas-do-mar (*Phyllidia* sp.). À direita, mexilhões (*Mytilus* sp.) da classe Bivalvia.

Mariscos, lulas e *escargots* são exemplos de moluscos de grande importância econômica, por serem apreciados na gastronomia. Há também algumas espécies de ostras que produzem pérolas que são cultivadas para a produção em escala comercial. Entre as espécies indesejáveis, existem alguns caramujos e lesmas considerados pragas agrícolas, por se alimentarem de plantas cultivadas, além de espécies transmissoras de patógenos ou hospedeiras de verminoses.

Morfologia

Embora os moluscos exibam grande variação de padrões morfológicos externos, compartilham uma série de características provenientes de sua ancestralidade comum. São triblásticos não segmentados, celomados (esquizocelia), protostômios, enterozoários completos, têm simetria bilateral e um corpo constituído de três partes principais.

Em geral, o corpo dos moluscos divide-se em **cabeça, pé e massa visceral**. Na cabeça ficam a boca e os órgãos sensoriais. Gastrópodes e cefalópodes têm essas duas estruturas bem desenvolvidas. Nos bivalves, a cabeça é bastante reduzida ou quase ausente. A estrutura muscular mais desenvolvida dos moluscos é o pé, com o qual se deslocam, cavam, nadam e capturam presas. O conjunto de órgãos internos do animal constitui a massa visceral, revestida e protegida pelo **manto** ou **pálio**. Este é um tecido epidérmico rico em glândulas secretoras que produzem a concha. Entre a massa visceral e o manto, está a cavidade palial ou cavidade do manto.



Plano corporal básico dos moluscos. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

A cavidade do manto tem importância fundamental na morfologia dos moluscos, pois nela estão as brânquias e as aberturas digestivas, excretoras e reprodutoras. Na maioria dos moluscos, a cavidade do manto permanece preenchida por água, que circula em razão dos movimentos musculares e dos batimentos dos cílios que recobrem a superfície interna. A água entra e sai continuamente por dobras do manto chamadas **sifões**. Ela entra pelo sifão inalante e sai pelo exalante. A circulação da água garante a respiração, a excreção e, em alguns casos, a alimentação do animal (como nos bivalves).



YUSRAN ABDUL RAHMAN

Polvo do gênero *Hapalochlaena*, grupo conhecido por ser venenoso. A seta aponta para o sifão exalante, que faz a propulsão durante a locomoção.

Em grande parte dos moluscos, o manto secreta uma concha calcária que protege o corpo e atua na proteção e na defesa do animal. Algumas espécies não têm concha (como polvos e lesmas), outras apresentam conchas bastante reduzidas e internas (a exemplo de lulas). A concha dos moluscos é composta de:

- uma camada proteica mais externa, frequentemente colorida, o **periostraco**;
- uma **camada prismática** mediana, com células impregnadas de cristais de carbonato de cálcio;
- uma **camada nacarada** mais interna, também calcária, geralmente mais lisa e brilhante.

As células da margem do manto secretam a camada prismática, enquanto as células da superfície produzem a camada nacarada. Esse processo faz a concha crescer simultaneamente em diâmetro e espessura.



ANDREY ARMYAGOV

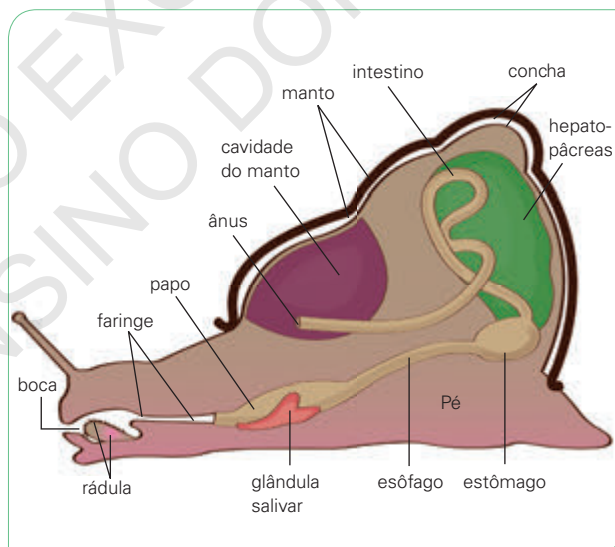
Caramujo *Helix* sp., mesmo gênero da espécie mais consumida como *escargot*. Nos caramujos, a concha cresce durante toda a vida.

FISIOLOGIA

SISTEMA DIGESTÓRIO

Moluscos têm sistema digestório completo, com boca e ânus. Na boca há uma estrutura chamada **rádula**, semelhante a uma língua musculosa, com pequenos dentes de quitina. Ela se conecta a músculos que realizam movimentos de vaivém, raspando e macerando alimentos presos ao substrato (principalmente algas). Alguns moluscos mais antigos (solenogastres) e os bivalves (ostras e mariscos) não apresentam essa estrutura, já que são, em sua maioria, animais filtradores.

O estômago é um alargamento do tubo digestivo, conectado a glândulas digestivas (ou hepatopâncreas), as quais secretam enzimas que realizam a digestão na cavidade estomacal. As partículas digeridas são absorvidas por células do trato digestivo, passando para o sangue (ou hemolinfa).



Representação esquemática de um gastrópode, com destaque para as estruturas do sistema digestório. O ânus se abre na cavidade do manto. Elementos fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Fonte: LOPES, Sônia; ROSSO, Sergio. *Bio.* 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2013. p. 249. v. 3.

SISTEMA CIRCULATÓRIO

A maioria dos moluscos apresenta sistema circulatório aberto ou lacunar, cujo fluido é denominado **hemolinfa**. Impulsionada pelo coração, esta segue por vasos até alcançar lacunas entre os tecidos denominados **hemocelos**. A hemolinfa então leva nutrientes e oxigênio e recolhe gás carbônico e outros resíduos metabólicos. Os cefalópodes são os únicos moluscos que apresentam um sistema circulatório **fechado**, no qual o sangue circula o tempo todo no interior de vasos.

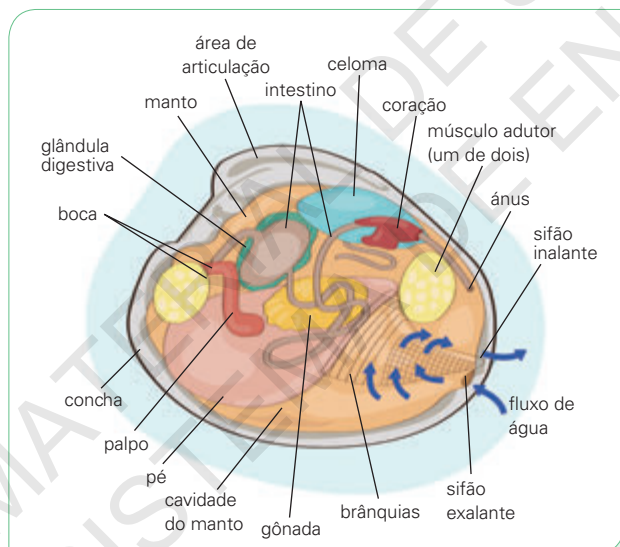
VLADIMIR WRANGEL



Os polvos são os principais representantes do grupo dos cefalópodes e os únicos moluscos com sistema circulatório fechado.

SISTEMA RESPIRATÓRIO

O manto vascularizado possibilita trocas gasosas entre a hemolinfa e o ambiente externo, tanto atmosférico quanto aquático. Nos moluscos terrestres, como o caracol-de-jardim (*Helix* sp.), a cavidade do manto cheia de ar funciona como um pulmão. Lâminas de tecido ricamente vascularizadas no manto formam as brânquias dos moluscos aquáticos. Além disso, nos terrestres ou nos aquáticos, esses animais apresentam um pigmento respiratório chamado **hemocianina**. A superfície corporal dos moluscos também auxilia nas trocas gasosas, característica da respiração cutânea.



Representação esquemática da circulação de água no interior de um mexilhão. As partículas alimentares em suspensão entram pelo sifão inalante, ficam retidas no muco das brânquias e passam dos cílios e palpos para a boca. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Fonte: REECE et al. *Biologia de Campbell*. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015. p. 698.

SISTEMA EXCRETOR

A excreção dos moluscos é realizada por um par de **nefrídios** ou **metanefrídios**, cujas aberturas

ciliadas retiram as excreções da cavidade pericárdica, eliminando-as do corpo por meio de poros excretores, que se abrem na cavidade do manto. Em alguns moluscos, como nos cefalópodes, os metanefrídios encontram-se bastante agrupados, formando um rim primitivo.

SUSTENTAÇÃO E LOCOMOÇÃO

A locomoção dos moluscos geralmente é lenta, realizada pelos pés, os quais são adaptados para fixação e servem para rastejar, nadar e cavar. Polvos e lulas têm um sifão propulsor que expulsa a água quando se deslocam.

SISTEMA NERVOSO E SENSORIAL

O sistema nervoso dos moluscos é **ganglionar ventral**, com a presença de diversos pares de gânglios nervosos dos quais partem cordões nervosos para todas as partes do corpo. Os cefalópodes têm gânglio cerebral e olhos bastante desenvolvidos, os quais apresentam várias similaridades com os olhos dos vertebrados. Alguns moluscos têm apenas olhos, cuja função é detectar a luz, sem formar imagens, tal como acontece com os platelmintos.

REPRODUÇÃO

Moluscos realizam reprodução sexuada. Nesse grupo há muitas formas de reprodução. Existem espécies monoicas ou hermafroditas, mas a maioria é dioica. A fecundação, no entanto, é sempre cruzada. Também há espécies que realizam fecundação interna e aquelas de fecundação externa. O desenvolvimento pode ser direto ou indireto. O tipo de larva mais comumente encontrada entre os moluscos é a **trocófora**.

O caracol-de-jardim, por exemplo, é monoico. Durante a cópula, dois indivíduos se aproximam e encostam os poros genitais através dos quais se fecundam reciprocamente. Os ovos se desenvolvem e, ao eclodir, liberam indivíduos sem a passagem por um estágio larval, caracterizando um desenvolvimento direto.



Cópula entre dois caracóis.

MOISIEV IGOR

CLASSIFICAÇÃO

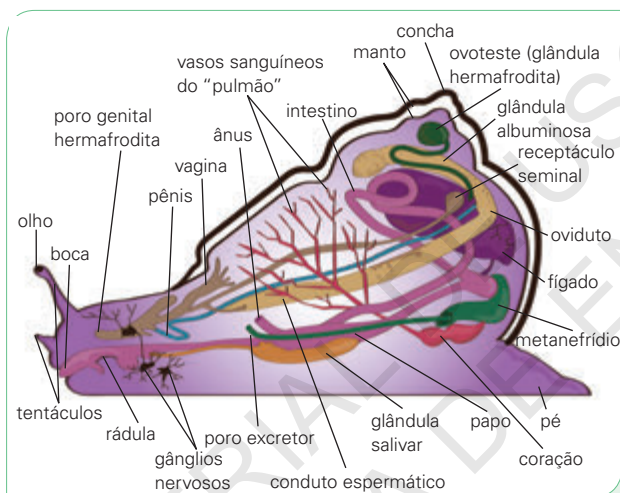
Os moluscos atualmente são divididos em oito classes. Neste módulo serão estudadas as cinco mais diversas, que incluem os representantes mais conhecidos:

- Gastropoda – caramujos, caracóis e lesmas terrestres e marinhas;
- Bivalvia – ostras, mexilhões e mariscos;
- Cephalopoda – polvos, lulas, náutilos e sépias;
- Polyplacophora – quitons;
- Scaphopoda – dentálios.

CLASSE GASTROPODA

Maior grupo de moluscos, compreende cerca de 3/4 das espécies conhecidas (cerca de 70 000). A maioria é marinha, mas também há espécies terrestres e de água doce. Essa classe é representada por caramujos, lesmas terrestres e marinhas, caracóis e lebres-do-mar.

Em algumas espécies, a concha é interna e reduzida ou não existe (como nas lesmas terrestres). Caracóis e caramujos apresentam concha externa em uma única peça retorcida; por isso são chamados univalves. A cabeça dos gastrópodes é desenvolvida, com olhos e rádula.



Representação esquemática da morfologia interna de um caracol-de-jardim. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Fonte: LOPES, Sônia; ROSSO, Sergio. *Bio.* 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2013. p. 246. v. 3.

Nos gastrópodes está a família dos caramujos planorbídeos, do gênero *Biomphalaria*. Esses animais têm importância na saúde pública, porque são hospedeiros intermediários do *Schistosoma mansoni* (causador da esquistossomose). Outra espécie de preocupação para a saúde pública é o caramujo-gigante africano (*Achatina fulica*), introduzido no Brasil na década de 1980. O objetivo era usar os animais na gastronomia – o que posteriormente se mostrou inadequado. Essa espécie foi liberada pelos criadores e abandonada no ambiente. Atualmente encontra-se espalhada por 23 estados brasileiros, transmitindo várias patologias e causando grandes impactos ecológicos nas espécies nativas em

razão da falta de predadores e patógenos naturais. É possível contaminar-se com a simples manipulação desses moluscos vivos, pois sua secreção pode conter dois tipos de microrganismos nocivos:

- *Angiostrongylus costaricensis* – Causador da angiostrongiliase abdominal, doença que pode resultar em morte por perfuração intestinal, peritonite e hemorragia abdominal. Os sintomas são dor abdominal, febre prolongada, anorexia e vômito.
- *Angiostrongylus cantonensis* – Causador da angiostrongiliase meningoencefálica humana. Os sintomas são dor de cabeça forte e constante, rigidez na nuca e distúrbios do sistema nervoso.

CLASSE BIVALVIA

São todos aquáticos (marinhos ou de água doce). Ostras, mariscos, mexilhões, vieiras e teredos estão entre os representantes mais conhecidos. Anteriormente o grupo era conhecido como pelecípoda, termo que significa “pé em forma de machado.” Uma concha com duas valvas articuladas justifica o nome atual do grupo: bivalves.

Apresentam cabeça bastante reduzida ou ausente. O pé é usado para escavação e locomoção. Nos bivalves, as brânquias têm função respiratória e um importante papel na alimentação, pois filtram as partículas alimentares em suspensão na água. A rádula está ausente nessa classe.

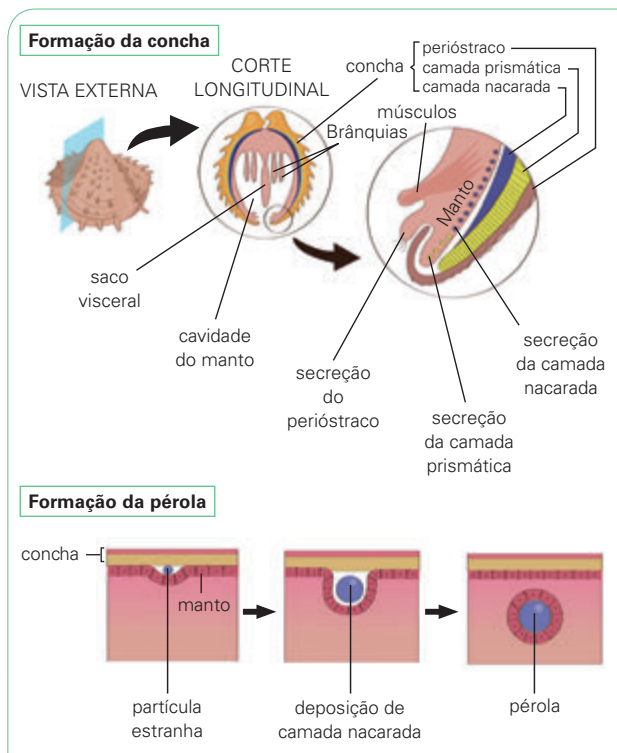


As ostras do gênero *Meleagrina* estão entre as principais espécies utilizadas para a produção de pérolas.

Formação das pérolas

Esse processo acontece quando uma partícula estranha (como um grão de areia ou um parasita) se aloja entre o manto e a concha de uma ostra. Como uma resposta defensiva natural dos bivalves, o corpo estranho é envolvido por sucessivas **camadas de nácar**, substância secretada que o isola do corpo da ostra. Esse material então se mineraliza e forma a pérola.

O que se faz comumente é induzir artificialmente a formação de pérolas pelas ostras. No Japão há grandes fazendas de cultivo de ostras para a produção de pérolas, sem nenhuma finalidade alimentar.



Acima, representação esquemática da concha de um molusco bivalve mostrando os locais do manto responsáveis pela produção da concha. Abaixo, etapas da formação das pérolas. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Fonte: LOPES, Sônia; ROSSO, Sergio. *Bio.* 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2013. p. 248. v. 3.

CLASSE CEPHALOPODA

Esse grupo inclui polvos, lulas, sépias, sibas e náutilos – todos animais marinhos. Têm sistema nervoso e olhos bem desenvolvidos, com elevado grau de cefalização. Neles, o pé originou o sifão (funil) e os tentáculos, localizados na região cefálica. Os cefalópodes expõem a água da cavidade do manto pelo funil, de maneira que ele participa da circulação da água e da locomoção, por meio de jato de propulsão.



Náutilo (*Nautilus* sp.), cefalópode com concha externa.

Os tentáculos, geralmente com ventosas, são usados na captura de alimento e na locomoção. Os polvos têm oito tentáculos. As lulas, por sua vez, apresentam dez. Há espécies de cefalópodes com concha externa (náutilos), com concha interna bastante reduzida (lula) e espécies sem concha (polvo).



Lula (*Loligo* sp.), cefalópode de concha interna bastante reduzida.

LEITURA COMPLEMENTAR

Espécies invasoras

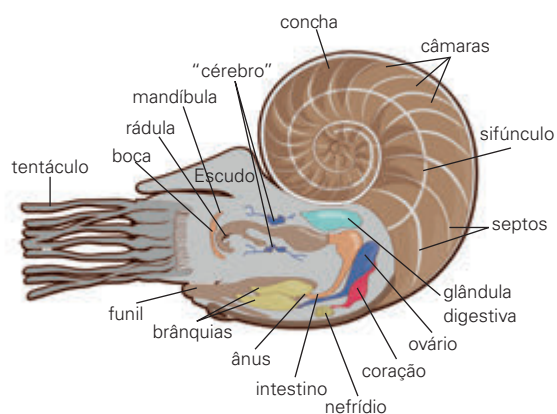
O mexilhão-dourado (*Limnoperna fortunei*) é uma espécie exótica originária da Ásia que chegou ao Brasil com a água do lastro de navios. Capaz de se fixar em qualquer substrato, exhibe grande capacidade adaptativa. A espécie se reproduz com facilidade e pode viver até três anos. Tornou-se uma praga nas bacias do Uruguai, Paraguai, Paraná e Jacuí-Patos.

Diversos estudos demonstraram que espécies introduzidas, acidentalmente ou não, estão entre os principais fatores responsáveis pela perda de biodiversidade no planeta.



Mexilhão-dourado (*Limnoperna fortunei*), espécie exótica amplamente distribuída em virtude da facilidade de adaptação a novos ambientes.

Em situações de ameaça, os cefalópodes lançam um jato de tinta escura na água, que forma uma “nuvem” escura que atordoia o predador e possibilita a fuga do animal. Um tipo de nanquim natural é extraído da glândula de tinta desses moluscos. Os cefalópodes podem mudar sua coloração e adquirir tons de rosa, amarelo e azul, formando até mesmo listras ou manchas irregulares. Os cromatóforos, células especiais da epiderme com grânulos de pigmentos, são responsáveis por essas mudanças de coloração, usadas em rituais de corte ou para autodefesa.



Morfologia interna de um náutilo. O corpo ocupa a última volta da concha. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Fonte: HICKMAN et al. *Princípios integrados de Zoologia*. 16. ed. São Paulo: Guanabara Koogan, 2016. p. 569.

CLASSE POLYPLACOPHORA

Os moluscos dessa classe têm o corpo achatado dorsoventralmente, pé ventral largo e concha formada por 7 ou 8 placas dorsais parcialmente sobrepostas. Têm cabeça reduzida e tamanho médio de 5 cm. São todos marinhos e vivem desde a região entre marés até grandes profundidades. A alimentação desses seres se baseia na raspagem de algas do substrato.



Quiton *Tonicella* sp. em vista dorsal.

CLASSE SCAPHOPODA

É formada por animais marinhos, representados pelos dentálios, cuja respiração ocorre através da superfície do corpo (respiração cutânea). Vivem enterrados na areia (bentônicos) e se alimentam principalmente de microrganismos do plâncton, usando tentáculos ciliados (captáculos) para a captura das presas. A concha desses animais tem formato de cone ou dente alongado, com abertura nas duas extremidades.



Dentálio, molusco marinho bentônico que tem concha tubular com abertura nas extremidades.

ROTEIRO DE AULA

MOLLUSCA

Características gerais

ambientes aquáticos e terrestres

celomados

entozoários

completos

simetria:

bilateral

concha calcária

corpo:

cabeça, pé e massa visceral

Classificação

Gastropoda

caramujos, caracóis e lesmas

concha torcida que abriga o corpo

cabeça e pé desenvolvidos

Cephalopoda

polvos, lulas, sépias, náutilos

Bivalvia

mariscos, mexilhões

rádula

ausente

conchas com duas valvas

cabeça reduzida

Polyplacophora

marinhas

ROTEIRO DE AULA

rádula

Fisiologia

excreção

metanefrídios

sistema circulatório

aberto (maioria)

tubo digestório

completo

respiração

branquial, pulmonar e cutânea

sistema nervoso

gânglios nervosos

Reprodução

sexuada

espécies monoicas e dioicas

fecundação

cruzada

interna e externa

desenvolvimento

direto e indireto

larva trocófora

concha:

reduzida, interna ou ausente

sistemas nervoso e sensorial

sistema circulatório:

fechado

quítons

concha com sete ou oito placas dorsais

sem segmentação

Scaphopoda

marinhas

concha:

tubular (cone)

bentônicos

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. **Unicamp-SP** – O filo Mollusca é o segundo maior do reino animal em número de espécies. É correto afirmar que os moluscos da classe Gastropoda

- a) são exclusivamente marinhos.
- b) possuem conchas, mas não rádula.
- c) são exclusivamente terrestres.
- d) possuem pé desenvolvido e rádula.**

Os moluscos da classe Gastropoda, como os caracóis, têm pé desenvolvido e rádula. A grande maioria possui concha externa desenvolvida e retorcida que abriga o corpo do animal. No entanto, também há gastrópodes cuja concha é reduzida ou mesmo ausente, como as lesmas. Entre os gastrópodes, a maioria é de espécies marinhas, mas também existem espécies de água doce e terrestres.

2. **UTFPR** – Assinale a alternativa correta.

Uma pessoa que tenha alergia a crustáceos vai a um restaurante onde servem frutos do mar.

Ela pode consumir apenas pratos com

- a) mexilhões e lulas.**
- b) lagostas e polvos.
- c) caranguejos e camarões.
- d) ostras e lagostas.
- e) caranguejos e polvos.

Mexilhões, ostras, polvos e lulas são moluscos marinhos. Lagostas, caranguejos e camarões são crustáceos.

3. **UFMG (adaptada)** – Observe esta espécie de caranguejo, que se alimenta de moluscos:



Cite uma característica adaptativa que permite aos moluscos evitar uma predação intensa.

Uma estratégia de proteção característica do grupo dos moluscos é a

presença de concha calcária, encontrada principalmente em gastrópodes

e bivalves. Quando ameaçados, os cefalópodes (moluscos cuja concha

é interna ou reduzida) costumam liberar tinta ou mudar de coloração.

4. **Cefet-MG** – O mexilhão-dourado, originário da Ásia, chegou acidentalmente ao continente sul-americano trazido pela água de lastro dos navios. Por ter uma grande capacidade reprodutiva e dispersiva e pela ausência de predadores na fauna brasileira, causa desequilíbrios ambientais e prejuízos econômicos. Esse molusco é considerado uma espécie

- a) exótica.**
- b) parasita.
- c) comensal.
- d) predadora.

O mexilhão-dourado é uma espécie exótica de molusco (classe dos bivalves). Espécies exóticas são aquelas oriundas de outras regiões e ecossistemas, ou seja, que não existiam naturalmente em determinada área.

5. **UFRGS** – O cardápio abaixo descreve alguns pratos da culinária brasileira.

Cardápio de Frutos do Mar	
Espaguete com mexilhão	R\$ 69,30
Risoto de polvo	R\$ 72,60
Risoto de camarão	R\$ 74,80
Risoto de mexilhão	R\$ 63,80
Polvo ao coco	R\$ 91,90
Camarão ao queijo	R\$ 99,30
Camarão ao molho de tomate	R\$ 82,50
Camarão ao coco	R\$ 91,90

Em relação aos animais citados no cardápio, é correto afirmar que

- a) polvos e mexilhões pertencem à classe dos gastrópodes.
- b) camarões pertencem à classe dos aracnídeos.
- c) polvos e mexilhões pertencem ao Filo Mollusca.**
- d) camarões e mexilhões pertencem ao Filo Arthropoda.
- e) todos os animais citados são crustáceos.

Polvos e mexilhões pertencem ao filo Mollusca. Os polvos são da classe dos cefalópodes (lulas, náutilos). Os mexilhões, por sua vez, são da classe dos bivalves (ostras).

6. **Unicid-SP** – Lesma, caracol, lula e polvo pertencem ao Filo Mollusca. **C4-H13**

a) Quais os dois tipos de sistema circulatório encontrados nos animais citados?

A maioria dos moluscos tem sistema circulatório do tipo aberto. Nele o

sangue ou hemolinfa flui parcialmente no interior de vasos e em cavida-

des entre os tecidos, denominadas de hemocelos. Gastrópodes (lesma

e caracol) e bivalves apresentam sistema circulatório aberto.

O único grupo de moluscos com sistema circulatório fechado são os cefalópo-

des (lulas, polvos, náutilos), no qual o sangue flui apenas no interior de vasos.

b) As lesmas e os caracóis deixam um rastro viscoso por onde se locomovem. A lula e o polvo expelem um jato de tinta em determinadas situações. Explique as vantagens adaptativas destas duas ações.

O rastro viscoso (muco) produzido por moluscos gastrópodes auxilia

a locomoção, que ocorre pelo deslizamento do pé sobre esse muco,

facilitado por ação ciliar. O muco produzido também pode ser usado

para a adesão (fixação) do pé do molusco ao substrato. Lulas e pol-

vos produzem uma tinta escura liberada com um jato de água pelo

funil (na região cefálica). Isso forma uma "nuvem" escura na água

ao seu redor que confunde e atordoa os predadores, possibilitando

a fuga do animal.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Reconhecer mecanismos de transmissão da vida, prevenindo ou explicando a manifestação de características dos seres vivos.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. Sistema Dom Bosco – O grupo dos moluscos compreende mais de 100 mil espécies atualmente conhecidas. Além dessa vasta diversidade, seus representantes apresentam grande variação morfológica e fisiológica. Assinale a alternativa que contém características **não** encontradas nos moluscos.

- Glândula de tinta e manto.
- Larva trocófora e manto.
- Rádula e corpo segmentado.
- Hemocele e glândula digestiva.
- Pigmento respiratório e desenvolvimento indireto.

8. Unisinos-RS



No último verão, o aparecimento do dragão-azul (*Glaucus* sp.) no litoral gaúcho impressionou, e até assustou, alguns veranistas. Embora o animal não produza toxinas, ele se alimenta de pequenos cnidários flutuantes (*Veleva veleva* e *Porpita porpita*) sem ser afetado por suas estruturas urticantes, que ficam armazenadas em seu corpo. Entretanto, o dragão-azul não oferece sérios riscos de acidentes com humanos. Este animal é um molusco pequeno, com dimensões de 3 a 4 cm de comprimento, pertencente ao grupo das lesmas-do-mar (nudibrânquios).

Sobre os moluscos, considere as proposições a seguir.

- Os moluscos possuem sistema excretor formado por metanefrídeos.
- O sistema respiratório dos moluscos pode ser pulmonar, cutâneo ou branquial.
- Os moluscos podem se reproduzir de forma sexuada ou assexuada.

Sobre as proposições acima, é correto afirmar que

- apenas I está correta.
- apenas II está correta.
- apenas I e II estão corretas.
- apenas I e III estão corretas.
- I, II e III estão corretas.

9. Uece (adaptada) – Nas areias das praias de todo o mundo, as conchas, estruturas de proteção típicas dos moluscos, são objetos de desejo de muitas pessoas fascinadas por sua beleza e diversidade. Sobre os moluscos, pode-se afirmar corretamente que

- suas conchas são produzidas por glândulas localizadas sob a pele, em uma região denominada umbo.

b) todos os moluscos possuem uma estrutura chamada rádula, que é formada por vários dentes de quitina, os quais servem para raspar o substrato para obtenção de alimentos.

c) dentre os moluscos, os cefalópodes possuem representantes com uma concha interna, como as lulas; representantes com uma concha externa, como os náutilos; e representantes sem concha, como o polvo.

d) os gastrópodes, representados em sua maioria por espécies marinhas, são conhecidos por sua capacidade de produzir pérolas, como resposta à entrada de partículas estranhas no interior de suas valvas.

10. Uerj – Os moluscos são animais de corpo mole que, em sua maioria, possuem sistema circulatório aberto e concha calcária, movimentam-se lentamente e se restringem a ambientes aquáticos. Entretanto, modificações nesse padrão são encontradas em cefalópodes, como as lulas, e em alguns gastrópodes, como o caramujo, conforme se observa na tabela.

Moluscos	Hábitat	Preferência alimentar	Modificações
Cefalópodes	marinhos	peixes	- concha interna reduzida ou ausente - sistema circulatório fechado
Gastrópodes	terrestres	vegetais	- desenvolvimento sem passagem pela etapa de larva - maior produção de muco

Indique uma contribuição de cada uma das modificações apresentadas na última coluna da tabela, para que os respectivos grupos de moluscos sobrevivam em seus ambientes.

11. Uerj – Esponjas e mexilhões podem ser considerados bioindicadores, uma vez que a análise de seus tecidos revela a concentração de poluentes na água.

Isso ocorre porque, no meio aquático, esses animais são caracterizados, em sua maioria, como

- a) filtradores.
- b) raspadores.
- c) predadores.
- d) decompositores.

12. Sistema Dom Bosco – Um dos grupos mais conhecidos de moluscos é aquele formado por ostras e mexilhões. Sobre os animais desse grupo, é incorreto afirmar que

- a) alguns produzem pérolas.
- b) têm concha e sistema circulatório aberto.
- c) apresentam respiração branquial.
- d) possuem pé desenvolvido e rádula.
- e) não têm representantes terrestres.

13. UFRGS – Com base nas características dos moluscos, assinale com **V** (verdadeiro) ou **F** (falso) as afirmações abaixo.

- () Os moluscos apresentam simetria radial.
- () O corpo é constituído por cabeça, pé e massa visceral.
- () Os bivalves possuem sífões para a entrada e a saída de água.
- () A composição da concha externa é calcária ou celulósica.

A sequência correta de preenchimento dos parênteses, de cima para baixo, é

- a) F-F-V-F.
- b) V-F-F-V.
- c) F-V-V-F.
- d) V-V-F-V.
- e) V-V-F-F.

14. UFJF-MG (adaptada) – A figura abaixo é uma representação das principais características corporais encontradas no filo Mollusca. Os números I, II e III representam algumas classes de moluscos.



a) Denomine uma classe da figura acima que inclui moluscos com rádula e outra sem rádula:

b) Como os moluscos sem rádula se alimentam?

c) Cite um exemplo que demonstra a importância ecológica dos bivalves.

15. UPF-RS – Animais de corpo mole, sem esqueleto, mas geralmente protegidos por uma concha calcária, são denominados _____. A Classe dos _____ vive exclusivamente no mar e tem a cabeça diretamente ligada aos pés. A Classe que compreende as ostras e os mexilhões corresponde aos _____, enquanto os animais com representantes marinhos, de água doce e terrestres, cuja concha é espiralada, denominam-se _____. E ainda há a Classe dos _____, cuja concha lembra uma pequena presa de elefante, oca e aberta nas duas extremidades.

A sequência de termos que completa corretamente o texto acima está na alternativa:

- a) Moluscos – Gastrópodes – Poliplacóforos – Cefalópodes – Crustáceos
- b) Cefalópodes – Crustáceos – Bivalves – Gastrópodes – Escafópodes
- c) Gastrópodes – Cefalópodes – Poliplacóforos – Moluscos – Escafópodes
- d) Poliplacóforos – Anelídeos – Cefalópodes – Bivalves – Gastrópodes
- e) Moluscos – Cefalópodes – Bivalves – Gastrópodes – Escafópodes

16. Unioeste-PR (adaptada) – O filo Mollusca é constituído por um grande número de espécies. Dentre seus representantes, podemos citar caracóis, ostras, mariscos, polvos e lulas. Embora possuam ampla diversidade morfológica, compartilham as seguintes características:

- a) simetria radial, protostômios, acelomados, diblásticos e sistema circulatório fechado.
- b) simetria bilateral, protostômios, celomados, triblásticos e excreção por metanefrídeos.
- c) simetria bilateral, deuterostômios, celomados e triblásticos e sistema nervoso ganglionar.
- d) simetria bilateral, deuterostômios, celomados, triblásticos e hermafroditas.
- e) simetria radial, protostômios, pseudocelomados, diblásticos e respiração pulmonar.

ARTRÓPODES

21

Em uma pesquisa realizada em 2016, pesquisadores da Universidade de São Paulo (USP) avaliaram o impacto ambiental na biodiversidade do solo em áreas de florestas transformadas em pastagens e em áreas de pastagens transformadas em canaviais. Foram colhidas amostras de solo das cidades de Jataí (GO), Ipaussu (SP) e Valparaíso (SP). O resultado é terrível: 90% da macrofauna original – composta em sua maioria de artrópodes – desapareceu completamente.

Junto a outros invertebrados e fungos, os artrópodes desempenham papel essencial na ciclagem de nutrientes do solo, especialmente por sua atuação na decomposição da matéria orgânica. Formigas e cupins, por exemplo, são os principais agentes estabilizadores na defesa contra a erosão por meio da construção de ninhos.

“Quando a mata nativa é convertida em pasto, todos os predadores de topo do solo, como as aranhas e os escorpiões, desaparecem. Na ausência de predadores, as populações de cupins e minhocas explodem. A quantidade de cupins no solo aumenta nove vezes. Já a de minhocas cresce 14 vezes”, explica o pesquisador André Luiz Custodio Franco. Quando o pasto é convertido em canavial, por outro lado, as populações de minhocas e cupins são eliminadas em virtude das correções químicas feitas no preparo do solo, que se torna tóxico para esses invertebrados.

Com a correção química e posterior adubação química, o resultado é a extinção da biodiversidade do solo, que se torna instável. “Cupins e formigas são os ‘engenheiros’ do solo, pois mantêm sua estabilidade”, observa Franco. Esses artrópodes – junto com minhocas – são os principais responsáveis pela encapsulação do carbono, diminuindo sua liberação para a atmosfera.

Assim como todos os seres vivos, os artrópodes têm papel essencial no equilíbrio do planeta. A perda da fauna edáfica (fauna do solo) coloca em risco a estabilidade do solo, interfere no ciclo do carbono e contribui para o efeito estufa.

- Características gerais
- Novidades evolutivas
- Classificação
- Fisiologia geral
- Comparação entre os subfilos

HABILIDADES

- Reconhecer as características morfológicas e fisiológicas do filo Arthropoda.
- Associar características adaptativas dos artrópodes à distribuição em diferentes ambientes.
- Comparar características diagnósticas dos subfilos de Arthropoda.



Colônia de cupins no solo.

Características gerais

O filo Arthropoda (do grego: *arthros*, articulação; e *podos*, pés) compreende a maior diversidade de espécies do reino Animal, reunindo mais de 75% de todas as espécies conhecidas de animais. Aproximadamente 1 100 000 espécies de artrópodes viventes foram descritas, e estima-se que esse número corresponda a apenas cerca de 10% das espécies existentes.

Os artrópodes têm corpo segmentado, uma cutícula quitinosa (exoesqueleto), que pode conter cálcio, e apêndices articulados bastante variados tanto em forma quanto em função. Reúne os insetos, os aracnídeos, os crustáceos, os diplópodes e os quilópodes. São animais protostômios, triblásticos, bilateralmente simétricos com celoma extremamente reduzido. Em sua maioria apresenta alto grau de cefalização do sistema nervoso central e dos órgãos sensoriais, o que possibilitou o surgimento de padrões complexos de comportamento, como a organização social em alguns grupos de insetos.

Podem ser encontrados em praticamente todos os tipos de ambientes. Há formas adaptadas à vida em ambientes terrestres, aéreos, em água doce e salgada. Há também espécies parasitas de plantas e animais que causam ou transmitem doenças.



Borboleta (*Papilio machaon*), um inseto voador.

Alguns artrópodes são bastante conhecidos por sua importância econômica. Crustáceos, como caranguejos, camarões, lagostas e siris, são apreciados como alimentos; entre os insetos, as abelhas produzem mel, e as larvas da mariposa da espécie *Bombyx mori* (bicho-da-seda) fabricam casulos de seda durante o desenvolvimento, os quais são utilizados na indústria têxtil. Por outro lado, existem diversos insetos considerados “pragas” para a agricultura porque podem causar grandes prejuízos econômicos.

LUCAS RIZZI/SHUTTERSTOCK



A cigarrinha-da-raiz (*Mahanarva fimbriolata*) chega a causar perdas de 11% na produtividade agrícola e de 1,5% na produção de açúcar.

EXOESQUELETO E CRESCIMENTO

A existência de um esqueleto externo duro, o exoesqueleto, é uma das características responsáveis pelo sucesso adaptativo dos artrópodes, proporcionando proteção contra choques mecânicos, sustentação e impedindo a desidratação. O exoesqueleto é composto de uma cutícula grossa de proteínas e cera, responsável pela impermeabilidade do animal. Nos crustáceos, a rigidez do exoesqueleto é decorrente de camadas de quitina e carbonato de cálcio. Pode formar uma verdadeira armadura, sendo fino e flexível nas juntas e articulações, o que permite a movimentação dos apêndices.

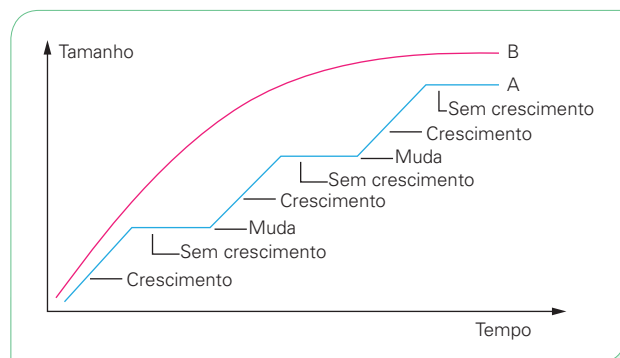
Uma vez que o exoesqueleto dos artrópodes é rígido e limita o crescimento do animal, a **muda** ou **ecdise** é um processo necessário de crescimento que envolve a eliminação periódica do exoesqueleto quitinoso e a formação de um novo exoesqueleto. Trata-se de um processo controlado pelo hormônio **ecdisona**, que atua diretamente nas células epidérmicas.



Exúvia ou exoesqueleto quitinoso de uma cigarra após a muda.

IJACKY/ISTOCKPHOTO

Enquanto ainda novo, o exoesqueleto é mole e distensível, e o animal cresce por certo período bombeando ar ou água para o interior no exoesqueleto. Quando ele endurece, o ar ou a água em seu interior são substituídos pelo crescimento de tecidos. A muda é um risco, uma vez que durante o processo o animal fica vulnerável a predadores, ferimentos e à perda de água. Dessa maneira, muitos artrópodes permanecem em abrigos até que o novo exoesqueleto esteja endurecido.



Comparação entre o crescimento dos artrópodes (A) e o crescimento da maioria dos demais grupos de animais (B).

Durante o período entre duas mudas sucessivas, conhecido por **intermuda**, o crescimento do animal é muito lento, e ocorre um grande gasto energético. A duração das intermudas torna-se maior à medida que o animal envelhece. Alguns artrópodes, como as lagostas e a maioria dos caranguejos, continuam realizando mudas durante toda a vida. Outros, como os insetos e as aranhas, cessam as mudas quando atingem a maturidade sexual.

Novidades evolutivas dos artrópodes

Apesar da enorme diversidade de espécies e formas corporais, os artrópodes compartilham as seguintes novidades evolutivas:

- o corpo é revestido por um **exoesqueleto** rígido contendo **quitina** (um polissacarídeo), o qual é trocado periodicamente (processo de ecdise ou muda), permitindo o crescimento do animal;
- são **segmentados**, mas a metameria é mais evidente na fase embrionária; no adulto há a fusão de segmentos formando **tagmas**, metâmeros unidos em grupos especializados, como cabeça, tórax e abdome (somente nos insetos);
- apresentam **pernas e outros apêndices articulados**, formados por vários segmentos ou artículos, conectados entre si por articulações móveis e flexíveis, e que apresentam funções variadas como locomoção, natação, alimentação e reprodução.

Classificação

A maioria dos estudos filogenéticos reconhece o filo Arthropoda como monofilético, compreendendo cinco subfilos:

1. Hexapoda: caracterizado pela presença de três pares de pernas no tórax. Divide-se nas classes Entognatha (pequeno grupo de hexápodes sem asas e com as peças bucais localizadas em uma depressão cefálica) e na classe Insecta, que inclui a grande maioria das espécies, tanto em número de espécies quanto em indivíduos. Apenas a classe Insecta será tratada aqui como representante do subfilo Hexapoda.

2. Myriapoda: caracterizado pelo corpo dividido nos tagmas cabeça e tronco, com um ou dois pares de apêndices articulados por segmento do tronco. Seus representantes têm grande número de pernas articuladas no corpo. Estão divididos em quatro classes, das quais serão abordadas a classe Chilopoda (centopeias e lacraias) e a classe Diplopoda (piolhos-de-cobra) como representantes do subfilo.

3. Crustacea: caracterizado pela presença de dois pares de antenas na cabeça e corpos geralmente cobertos por uma cutícula composta de quitina, proteína e material calcário, formando uma estrutura bastante endurecida (carapaça) na maioria do grupo. Corpo geralmente dividido nos tagmas, cefalotórax e abdome. Dividido em várias classes, o grupo inclui lagostas, caranguejos, siris, camarões, cracas, entre outros. O subfilo Crustacea será tratado como um todo.

4. Chelicerata: caracterizados pela presença de quelíceras (apêndice em forma de garra ou pinça) e por quatro pares de pernas no cefalotórax. São representados pelos límulos (classe Merostomata), e pelas aranhas, escorpiões, opilhões, carrapatos e ácaros (classe Arachnida). Apenas a classe Arachnida será tratada como representante do subfilo Chelicerata.

5. Trilobitomorpha: apenas representantes fósseis (trilobita); foram muito abundantes nos mares do Paleozoico; foram extintos entre o Permiano e o Triássico.

CLASSE INSECTA (HEXAPODA)

Baratas, gafanhotos, besouros, borboletas, moscas, formigas, piolhos e muitos outros animais semelhantes estão reunidos no grupo dos insetos (do latim *insecta*, seccionado), compreendendo mais de 900 mil espécies viventes conhecidas. São encontrados em praticamente todos os habitats do planeta. A maioria ocupa o ambiente terrestre; alguns estão adaptados à vida na água doce e poucos, à vida marinha. São os únicos invertebrados capazes de voar, o que contribuiu para o sucesso da vida terrestre, fornecendo inúmeras vantagens adaptativas como a procura por alimento, a busca por melhores condições ambientais, o encontro de parceiros para acasalamento e a fuga de predadores.



JERIDU/ISTOCKPHOTO



ERHANDAY/ISTOCKPHOTO

Representantes dos insetos: à esquerda, uma formiga; à direita, um besouro, popularmente chamado de joaninha, com as asas abertas.



AVSTRALIIVASINI/ISTOCKPHOTO

Traça (*Lepisma* sp.), grupo dos tisanuros.

Os insetos possuem uma importância ecológica e econômica notável. Cerca de dois terços das plantas floríferas dependem deles para a polinização. Diversos insetos causam grandes prejuízos à agricultura — danificando e até mesmo destruindo plantações. Lagartas de borboletas e gafanhotos, por exemplo, são devoradores de plantações. Há ainda aqueles que destroem materiais como madeiras (cupins), roupas e livros (traças).

Os insetos também possuem grande relevância para a saúde humana, uma vez que atuam como vetores de diversas doenças, ou diretamente como parasitas de humanos e de animais domésticos.

A malária, por exemplo, é causada pelo protozoário *Plasmodium* sp. e é transmitida pela picada do mosquito fêmea do gênero *Anopheles*, conhecido como mosquito-prego. A leishmaniose cutânea (*Leishmania braziliensis*) e a leishmaniose visceral (*Leishmania donovani* ou *L. chagasi*) são transmitidas pela picada da fêmea do mosquito *Lutzomyia*, conhecido como flebótomo ou mosquito-palha. Veja a seguir exemplos de artrópodes de importância parasitológica.



PRILLFOTO/DREAMSTIME.COM



CHINAPONG/SHUTTERSTOCK



PAVEL KRASENSKY/SHUTTERSTOCK



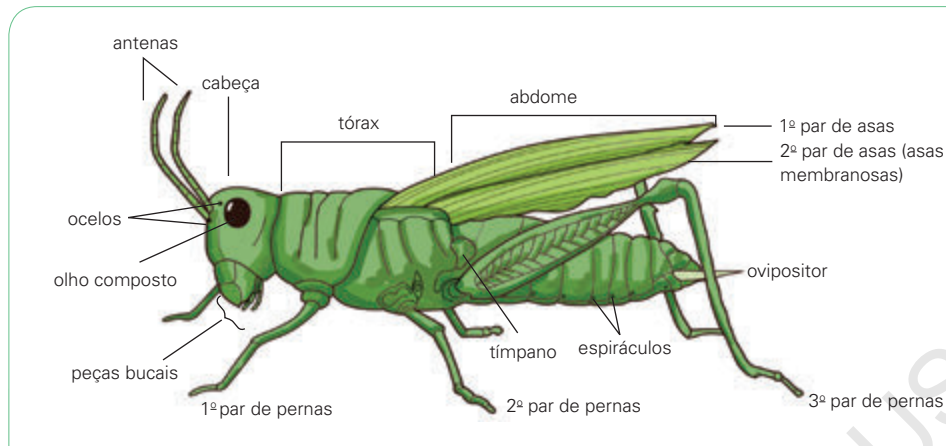
ARLINDO71/ISTOCKPHOTO

Artrópodes de importância parasitológica. (A) Ácaro da poeira, *Dermatophagoides* sp., causador de alergias respiratórias. (B) *Cimex* sp., percevejo-da-cama, ectoparásita humano. (C) *Aedes aegypti*, mosquito transmissor da dengue, febre amarela e do Zika vírus. (D) *Pediculus humanus*, piolho humano.

Estrutura e morfologia dos insetos

Os insetos diferenciam-se dos demais artrópodes por apresentar **três pares de pernas** no tórax e geralmente dois pares de asas. Possuem um único par de antenas na cabeça e têm o corpo dividido em três tagmas: cabeça, tórax e abdome.

AVSTRALI/ASIN/ISTOCKPHOTO



Representação da morfologia externa de um gafanhoto. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

O par de antenas (funções olfativa e tátil) e o par de olhos compostos são as principais estruturas sensoriais na cabeça. Os olhos compostos são formados por inúmeras unidades visuais chamadas de **omatódios**. Também podem ser encontrados dois ou três olhos simples (ou ocelos) entre os olhos compostos — estes são apenas estruturas fotossensíveis, não formando imagens.

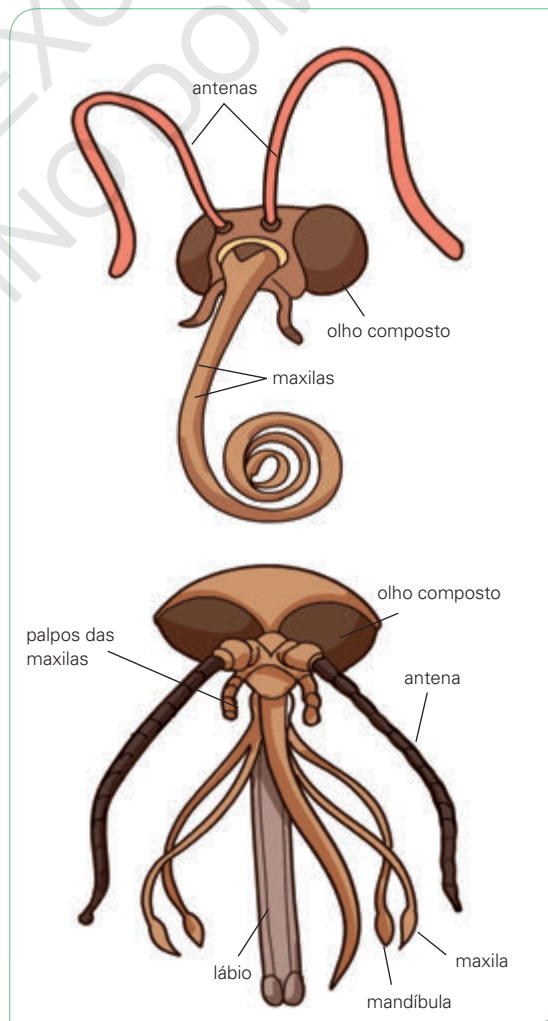
BR3KKANC/ISTOCKPHOTO



Detalhe dos omatódios da mosca (*Tabanus abdominalis*), cada unidade do olho composto dos insetos.

Na cabeça também há apêndices ou peças bucais (geralmente voltadas para baixo) especializadas em diferentes tipos de alimento. Podem ser do tipo:

- **mastigador**: especializado em rasgar, cortar e moer o alimento, presente em gafanhotos, baratas e vespas;
- **lambedor**: absorção de alimentos líquidos. Encontrado em abelhas e moscas;
- **perfurador e sugador**: especializações associadas aos hábitos alimentares hematófago e fitófago;
- **sugador**: canal alongado, usado na sucção do néctar das flores, encontrado em borboletas (espirotromba).



Representação da cabeça de uma borboleta, acima, e da cabeça de um mosquito, abaixo, com detalhes para suas peças bucais, do tipo espirotromba e sugador perfurante, respectivamente. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

O tórax dos insetos apresenta três segmentos, cada qual com um par de pernas. Em geral as pernas estão adaptadas para andar ou correr, mas também há pernas modificadas para pular, nadar, cavar ou agarrar presas. As asas são frequentemente localizadas no segundo e no terceiro segmentos torácicos dos insetos pterigotos (alados).



Libélula, exemplo de inseto de asas membranosas.

No abdome estão localizados o intestino, o coração, o sistema excretor, a abertura do tubo digestório e o sistema reprodutor e suas estruturas (órgão copulador nos machos e ovipositor nas fêmeas). Vespas e abelhas possuem um aguilhão. Na parte lateral do abdome dos insetos encontram-se os **espiráculos** ou estigmas — aberturas do **sistema respiratório traqueal**.

Reprodução dos insetos

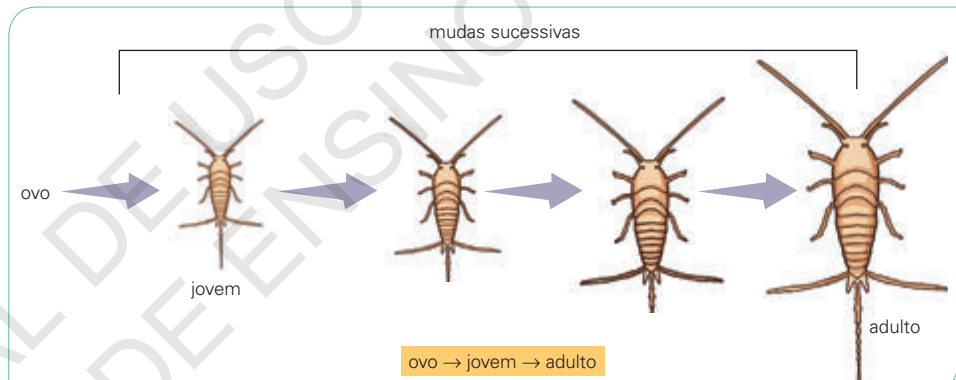
Os insetos são dioicos e geralmente realizam fecundação interna. Em cada acasalamento, grande quantidade de espermatozoides é transferida e fertiliza muitos ovócitos. Diversos insetos acasalam uma única vez durante a vida; na maioria das formas, o número de acasalamentos é baixo.

Quase todos são ovíparos e depositam ovos em locais que muitas vezes serão o hábitat do indivíduo adulto. Em abelhas, vespas, formigas e pulgões ocorre **partenogênese** — desenvolvimento de ovócitos sem fecundação. Em certos tipos de moscas, ocorre **pedogênese** ou **partenogênese larval** — produção de ovos ou formas jovens por indivíduos imaturos.

Tipos de desenvolvimento

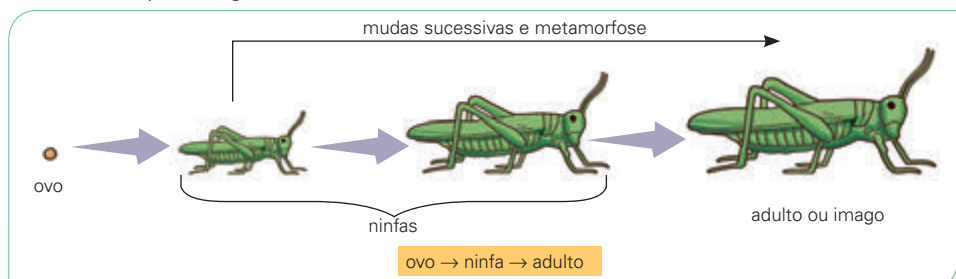
Os insetos apresentam os seguintes padrões de desenvolvimento:

- **ametábolos** (do latim: *a*, sem; e *metabola*, mudança): têm desenvolvimento direto, ou seja, sem metamorfose. Do ovo eclode um jovem semelhante ao adulto que, mediante mudas, atinge a fase adulta, caracterizada pela presença de gônadas maduras. É o caso das traças-do-livro;



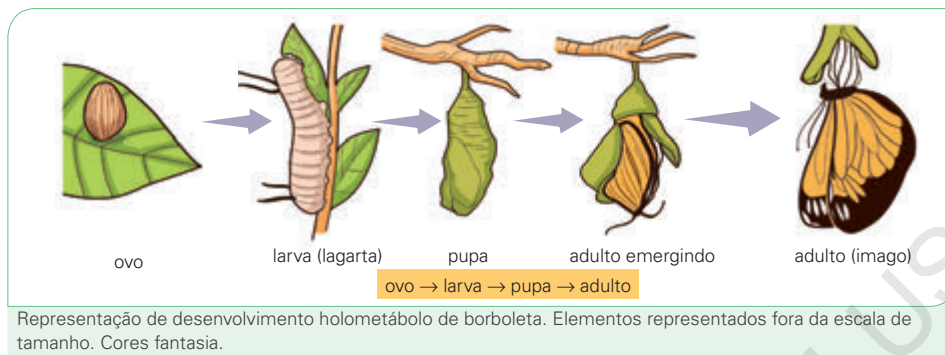
Representação do desenvolvimento ametábolo de traças, ordem Thysanura. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

- **hemimetábolos** (do latim: *hemi*, metade): têm desenvolvimento indireto e realizam metamorfose parcial ou incompleta. Do ovo eclode uma pequena ninfa, semelhante, de modo geral, ao adulto. Durante as mudas, a ninfa sofre algumas alterações estruturais, desenvolvendo asas e mudando de coloração, até atingir a forma adulta ou imago. Hemimetábolos incluem baratas, gafanhotos, cupins, cigarras, entre outros;



Representação de desenvolvimento hemimetábolo de gafanhoto. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

- **holometábolos** (do latim: *holo*, completo): têm desenvolvimento indireto e metamorfose total ou completa. Do ovo eclode uma pequena larva vermiforme, segmentada, sem asas nem olhos. No final do período larval, o animal cessa sua atividade e não se alimenta, refugiando-se em locais protegidos, como em um casulo ou tecido vegetal — estágio de pupa ou crisálida. Na fase de pupa ocorrem transformações radicais, de forma que poucas estruturas larvais permanecem. Da pupa emerge o adulto ou imago. Holometábolos incluem moscas, borboletas, abelhas, besouros. Cerca de 88% dos insetos são holometábolos.



CLASSE CHILOPODA (MYRIAPODA)

Os quilópodes são predadores carnívoros bastante ágeis, popularmente conhecidos por centopeias ou lacraias. Têm o corpo achatado e dividido em cabeça e tronco multissegmentado, com um par de pernas por segmento do tronco, podendo apresentar de 15 a 180 segmentos. Possuem olhos simples, **um par de mandíbulas** e um par de antenas longas. Os apêndices do primeiro segmento são modificados em inoculadores de veneno próximos à boca e apresentam glândulas peçonhentas, as forcípulas.

A respiração é traqueal, e a excreção ocorre por meio dos túbulos de Malpighi. Apresentam desenvolvimento direto; pequenas centopeias emergem dos ovos contendo cerca de sete pares de pernas. A cada ecdise, novos pares são adicionados.



Quilópode, gênero *Scolopendra*.

CLASSE DIPLOPODA (MYRIAPODA)

Popularmente conhecidos como milípedes, embuás ou piolhos-de-cobra, os diplópodes têm o corpo dividido em cabeça e tronco, com 9 a 100 segmentos, cada um contendo **dois pares de pernas por segmento** visível externamente. Na realidade cada segmento externa-

mente visível do tronco corresponde a dois segmentos fundidos (diplossegmentados), por isso há dois pares de pernas por segmento. Na cabeça há um par de antenas curtas, um par de mandíbulas e dois pares de olhos simples. São animais herbívoros ou detritívoros. São vagarosos e enrolam-se quando ameaçados. Algumas formas eliminam substâncias repelentes que afastam predadores. A respiração é traqueal, e a excreção ocorre por meio de túbulos de Malpighi.



O piolho-de-cobra habita áreas úmidas.

SUBFILO CRUSTACEA

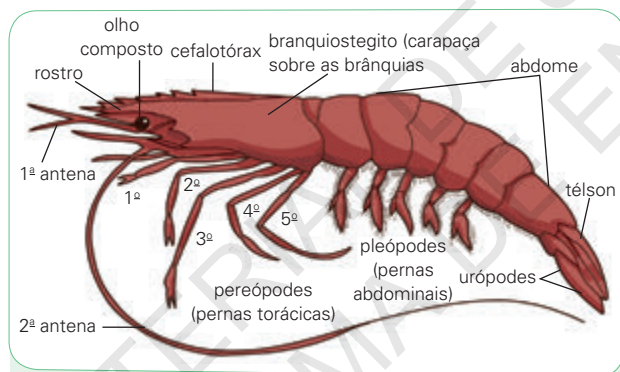
Os crustáceos reúnem caranguejos, siris, camarões, lagostas e cracas. A maior parte das cerca de 67 mil espécies conhecidas é marinha, mas existem espécies que vivem em água doce e há algumas terrestres, como o tatuzinho-de-jardim (vive em solo úmido). Geralmente de vida livre na superfície dos ambientes aquáticos, os microcrustáceos ocupam posição importante nas cadeias alimentares. Embora em menor número de espécies comparada a dos insetos, os crustáceos exibem maior variação no plano corporal.



Caranguejo-eremita, ou paguro, utiliza conchas vazias de moluscos para proteger seu abdome.

Estrutura e morfologia

Os crustáceos podem ser distinguidos dos demais artrópodes pela presença de **dois pares de antenas** na cabeça. O corpo tem segmentação evidente, porém menos complexa. Em geral se distinguem cabeça, tórax e abdome, e muitos representantes têm cabeça e tórax fundidos, formando um **cefalotórax**. Possuem um par de olhos compostos, geralmente pedunculados. No tórax e no abdome, o número de segmentos pode ser variável. Os apêndices variam em número e função, podendo apresentar especialização para a captura e manipulação de alimento, locomoção e natação.



Representação simplificada da morfologia externa do camarão (*Crustacea*). Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Reprodução dos crustáceos

Com exceção das cracas e dos tatuzinhos-de-jardim, os crustáceos são dioicos, e a fecundação é sempre cruzada e interna. Durante a reprodução, pode haver rituais de corte elaborados. Os ovos são frequentemente incubados entre os apêndices do corpo. O desenvolvimento é indireto na maioria das espécies, mas também há espécies com desenvolvimento direto (como no lagostim). A maioria apresenta a larva livre-natante náuplio, mas outras formas larvais também são encontradas de acordo com a espécie.



Krill, crustáceo de alto-mar com 3 cm a 6 cm de comprimento, semelhante a camarões. Alimenta-se de algas e vive em grandes grupos, constituindo a base da teia alimentar de várias espécies de peixes, aves e mamíferos marinhos. A espécie *Euphausia pacifica* é pescada para consumo no Japão.

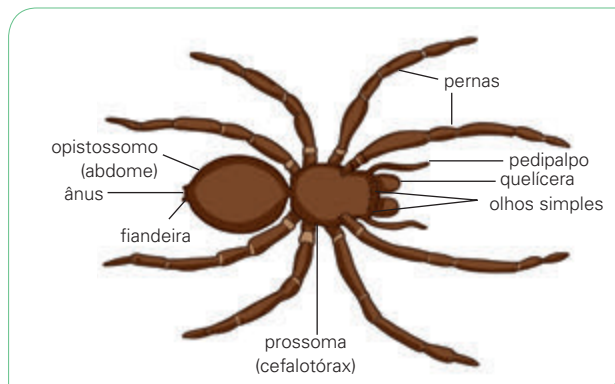
CLASSE ARACHNIDA (CHELICERATA)

Os aracnídeos compreendem aranhas, escorpiões, opilhões, carrapatos e ácaros (sarna e cravo). Atualmente são conhecidas mais de 80 000 espécies viventes.

Aracnídeos possuem corpo dividido em cefalotórax ou prossoma, e abdome ou opistossoma. Não têm antenas e apresentam **quatro pares de pernas** no cefalotórax (octópodes). No cefalotórax há também um par de quelíceras (apêndices em forma de garra ou pinça) e um par de palpos ou pedipalpos, que atuam como estruturas sensoriais.

Aranhas

Nas aranhas as quelíceras estão associadas a glândulas inoculadoras de veneno, as quais se localizam no cefalotórax. Os pedipalpos das aranhas correspondem a apêndices curtos que podem desempenhar diferentes funções, como sensorial, manipulação do alimento e, nos machos, podem estar modificadas em estrutura copulatória. No opistossoma das aranhas existem dois ou três pares de fiandeiras ligadas a **glândulas sericígenas** secretoras de um líquido que, em contato com o ar, se transforma em fio, com o qual elas tecem a teia de seda utilizada na captura de presas e como forma de dispersão para os indivíduos jovens. As aranhas possuem apenas olhos simples, cerca de 2 a 4 pares.



Representação da morfologia externa da aranha. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Escorpiões

Nos escorpiões, as quelíceras trituram os alimentos, e os pedipalpos, grandes e quelados, são usados para segurar as presas. Com cefalotórax bastante curto, seu abdome divide-se em mesossoma e metassoma ou cauda. O télson ou aguilhão de veneno localiza-se no pós-abdome, ao final da cauda.



Escorpião *Tityus* sp.

Ácaros

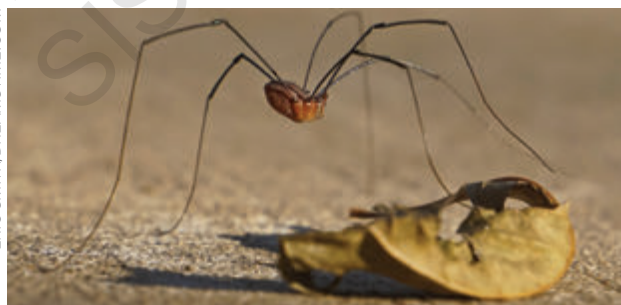
Entre os ácaros, alguns são parasitas de plantas e animais, como o ácaro causador da sarna no ser humano e nos animais domésticos. Nos ácaros o prossoma e o opistossoma estão unidos.



Carrapato-estrela (*Amblyomma cajennense*), transmissor da febre maculosa.

Opiliões

Formam um grande e diversificado grupo de aracnídeos que vivem em habitats úmidos e sombreados, como as florestas tropicais. A maioria tem pernas bastante longas em relação ao tamanho do corpo. O abdome e o cefalotórax são fundidos, e o abdome, segmentado.



Opilião, aracnídeo que possui pernas bastante alongadas.

Reprodução dos aracnídeos

Aracnídeos são animais dioicos com fecundação interna e desenvolvimento direto, sem estágio larval, com exceção dos ácaros, em que o desenvolvimento é indireto, com a formação de larva.

As aranhas desenvolveram comportamentos reprodutivos e de acasalamento variados, bem como diferentes estratégias para a proteção da sua prole, o que resultou em grande sucesso adaptativo no ambiente terrestre. O dimorfismo sexual é comum, com as fêmeas maiores que os machos. Após a postura, os ovos são depositados por fios de seda em um casulo ou ooteca.

Algumas espécies de escorpiões realizam um ritual de cortejo; são ovovíparas ou vivíparas, e os ovos são incubados no aparelho reprodutor feminino.

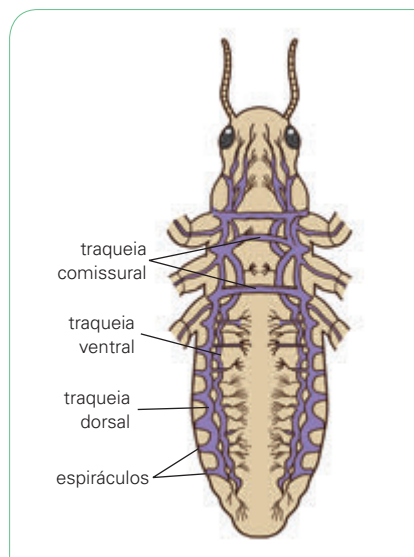
Fisiologia geral dos artrópodes

SISTEMA DIGESTÓRIO

Artrópodes têm tubo digestório completo, com boca e ânus. O blastóporo dá origem à boca, ou seja, são animais protostômios.

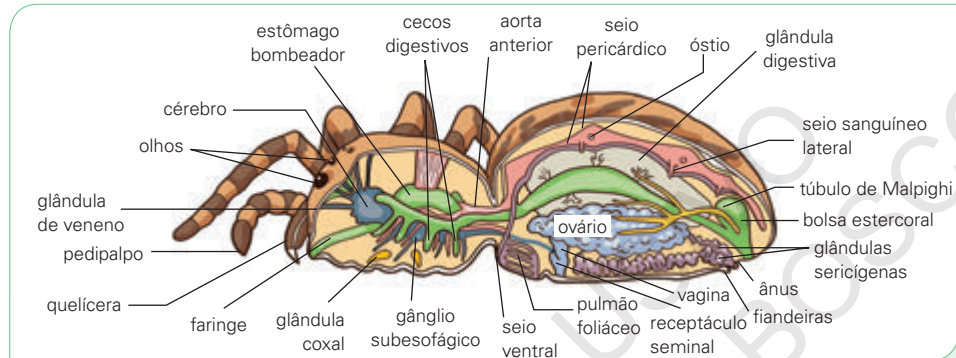
SISTEMA RESPIRATÓRIO

A variedade de estruturas respiratórias reflete em parte a diversidade de habitats ocupados pelos artrópodes. As estruturas são especializadas para a realização de trocas gasosas com a água (brânquias) ou com o ar (pulmões foliáceos ou traqueias), além de a superfície corporal ser adaptada para a realização de trocas gasosas. Insetos, diplópodes e quilópodes respiram por traqueias (sistema traqueal) – tubos reforçados de quitina que se ramificam várias vezes, formando túbulos microscópicos que levam oxigênio a cada célula do corpo. As aberturas das traqueias no abdome dos insetos são chamadas de estigmas ou espiráculos.



Representação do sistema respiratório traqueal dos insetos. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Aranhas respiram por meio de pulmões foliáceos (sistema filotraqueal), traqueias ou ambos. Pulmões foliáceos formam-se de várias bolsas de ar paralelas que se estendem dentro de uma cavidade preenchida de sangue. O ar penetra através de uma fenda na parede do corpo. Suas traqueias são semelhantes às dos insetos. Escorpiões respiram por pulmões foliáceos (sistema filotraqueal). Nos crustáceos maiores, a respiração ocorre através de brânquias, situadas na base das pernas torácicas, abaixo do exoesqueleto. Nos crustáceos pequenos, as trocas gasosas ocorrem nas áreas onde a cutícula é fina ou por toda a superfície corpórea.



Representação da anatomia interna dos aracnídeos com base em uma aranha fêmea. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

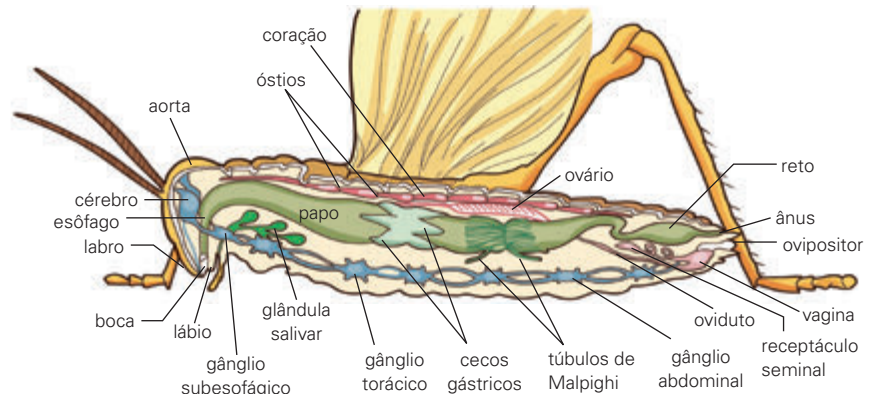
SISTEMA CIRCULATÓRIO

O sistema circulatório dos artrópodes é do tipo aberto. O sangue circula sob baixa pressão e com fluxo lento, passando por vasos e por cavidades, as hemoceles. O sangue é mais comumente chamado de hemolinfa nos animais com sistema circulatório aberto. A hemolinfa dos artrópodes pode apresentar a hemocianina ou a hemoglobina como pigmento respiratório.

SISTEMA EXCRETOR

Nos insetos, quilópodes e diplópodes, os túbulos de Malpighi retiram os excretas diretamente da hemolinfa, liberando-as no intestino, sendo posteriormente eliminados com as fezes. A excreção dos crustáceos acontece pelas glândulas verdes ou antenais, que estão localizadas na base das antenas e são retiradas pelos excretas nitrogenados, depois as eliminam por um poro excretor localizado na base das antenas. A excreção dos aracnídeos é realizada por túbulos de Malpighi e/ou pelas glândulas coxais, as quais retiram os excretas do sangue, levando-os até os poros excretores localizados na (coxa) perna.

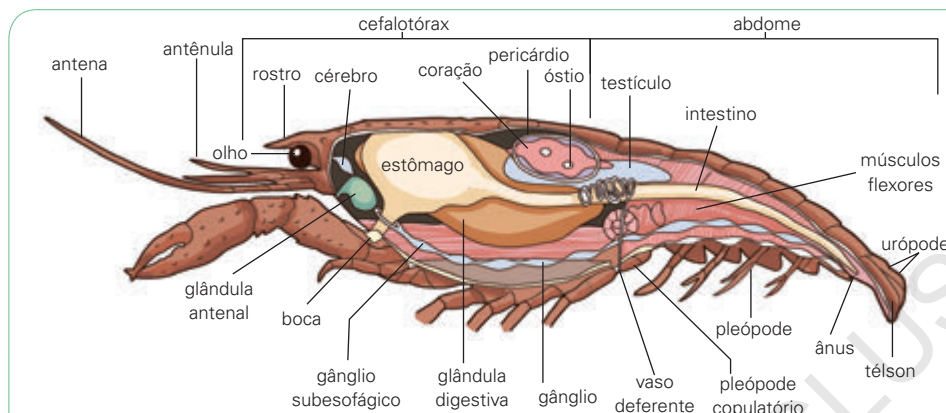
O principal resíduo metabólico difere entre os grupos: pode ser a amônia (crustáceos), o ácido úrico (insetos, diplópodes e quilópodes) ou a guanina (aracnídeos). A eliminação de ácido úrico ou de guanina é mais adequada à vida terrestre, na medida em que envolve produtos pouco tóxicos que exigem pouca diluição, representando assim uma boa estratégia de economia de água.



Representação da anatomia interna dos insetos com base em uma fêmea de gafanhoto. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

SISTEMA NERVOSO

O sistema nervoso dos artrópodes é do tipo ganglionar ventral, apresentando elevado grau de concentração de estruturas nervosas na cabeça (cefalização). As estruturas sensoriais dos artrópodes são bastante diversificadas. Há sensores químicos capazes de reconhecer a presença de alimentos e inimigos naturais; receptores de paladar, como os localizados nas pernas das moscas; sensores posturais, receptores auditivos, receptores luminosos etc.



Representação da anatomia interna dos crustáceos com base em um lagostim macho. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Comparação entre os subfilos de artrópodes

	Classe Insecta (Subfilo Hexapoda)	Classe Arachnida (Subfilo Chelicerata)	Subfilo Crustacea	Classe Diplopoda (Subfilo Myriapoda)	Classe Chilopoda (Subfilo Myriapoda)
Principal hábitat	terrestre	terrestre	marinho ou água doce	terrestre	terrestre
Desenvolvimento	direto ou indireto	direto (exceto em ácaros)	direto ou indireto	direto	direto
Divisão do corpo	cabeça, tórax, abdome	prossoma (cefalotórax) e opistossoma (abdome)	cefalotórax e abdome	cabeça e tronco segmentado	cabeça e tronco segmentado
Pernas	3 pares no tórax	4 pares no prossoma (cefalotórax)	variável	2 pares por segmento	1 par por segmento
Antenas	1 par	ausentes	2 pares	1 par	1 par
Mandíbulas	presentes	ausentes	presentes	presentes	presentes
Respiração	traqueal	filotraqueal (pulmões foliáceos)	branquial	traqueal	traqueal
Excreção	túbulos de Malpighi	glândulas coxais e/ou túbulos de Malpighi	glândulas verdes ou antenais	túbulos de Malpighi	túbulos de Malpighi

ROTEIRO DE AULA

ARTHROPODA

Novidades evolutivas

exoesqueleto de:

quitina

troca de exoesqueleto:

ecdise

grupo de segmentos especializados:

tagmas

apêndices:

articulados

Características gerais

protostômios e triblásticos

simetria

bilateral

celoma (esquizocélico)

Fisiologia/reprodução

sistema digestório completo

sistema respiratório

variado

sistema circulatório aberto

sistema excretor

variado

sistema nervoso ganglionar ventral

sexo

maioria dioica

fecundação: maioria cruzada e interna

desenvolvimento

direto ou indireto

ROTEIRO DE AULA

Classificação

Subfilo Myriapoda

centopeias e piolhos-de-cobra

corpo	cabeça e tronco segmentado
pernas	1 ou 2 pares (por segmento)
antenas	1 par
mandíbula	presente
respiração	traqueal
excreção	túbulos de Malpighi
desenvolvimento	direto

Classe Arachnida (Subfilo Chelicerata)

aranhas, escorpiões, opilhões e ácaros

corpo	prossoma e opistossoma
pernas	4 pares (cefalotórax)
antenas	ausentes
mandíbula	ausente
respiração	filotraqueal
excreção	glândulas coxais e túbulos de Malpighi
desenvolvimento	direto (exceto ácaros)

Classe Insecta (Subfilo Hexapoda)

besouros, borboletas, gafanhotos

hábitat	maioria terrestre
corpo	cabeça, tórax, abdome
pernas	3 pares (torácicas)
antenas	1 par
mandíbula	presente
respiração	traqueal
excreção	túbulos de Malpighi
desenvolvimento	direto ou indireto

Subfilo Crustacea

lagostas, siris, caranguejo

hábitat	maioria aquática
corpo	cefalotórax, abdome
pernas	número variável
antenas	2 pares
mandíbula	presente
respiração	branquial
excreção	glândulas verdes
desenvolvimento	direto ou indireto

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. Uece (adaptada) – Analise as afirmativas abaixo sobre artrópodes, e assinale com V o que for verdadeiro e com F o que for falso.

- I. () Possuem exoesqueleto que reveste e protege o corpo de perigos externos.
- II. () Ao tornarem-se adultos, podem realizar ecdise várias vezes durante a vida.
- III. () Crustáceos e insetos pertencem a esse grupo, mas aracnídeos não podem ser classificados como tal.
- IV. () Apresentam sistema digestório completo, com digestão extracelular e sistema circulatório fechado.

A sequência correta, de cima para baixo, é:

- a) V, V, V, F.
- b) V, F, V, V.
- c) V, V, F, F.**
- d) F, F, F, V.

Aracnídeos (aranhas, escorpiões, ácaros e opiliões), mirípodos (piolhos-de-cobra), insetos e crustáceos fazem parte dos artrópodes (filo Arthropoda). Os representantes do filo dos artrópodes possuem sistema circulatório aberto (lacunar).

2. UPF-RS – São características gerais dos crustáceos:

- a) Corpo dividido em cabeça, tórax e abdome; ausência de antenas; sistema circulatório fechado; excreção por meio de túbulos de Malpighi.
- b) Corpo dividido em cefalotórax e abdome; ausência de antenas; sistema circulatório lacunar; excreção por meio de glândulas antenais.
- c) Corpo dividido em cefalotórax e abdome; dois pares de antenas; sistema circulatório do tipo aberto; excreção por meio de glândulas antenais.**
- d) Corpo dividido em cefalotórax e prorsomo; um par de quelíceras; sistema circulatório lacunar; excreção por meio de túbulos de Malpighi.
- e) Corpo dividido em cabeça, tórax e abdome; um par de antenas; sistema circulatório fechado; excreção por meio de glândulas coxais.

Os crustáceos apresentam o corpo dividido em cefalotórax e abdome; dois pares de antenas; sistema circulatório aberto (ou lacunar), como todos os artrópodes; a excreção é realizada por glândulas antenais, que também são chamadas de glândulas verdes.

3. Fuvest-SP – Gafanhotos alados (*Orthoptera*), formando nuvens, atacaram recentemente lavouras de mandioca, na região Norte do Brasil, trazendo prejuízos econômicos. Outra praga agrícola que vem causando danos para a economia é a lagarta-do-cartucho (*Lepidoptera*), que ataca plantações de milho e reduz a produção desse grão em até 50%.

- a) Como esses insetos são classificados quanto ao tipo de desenvolvimento e ao processo de metamorfose?

Os insetos mencionados apresentam desenvolvimento indireto. Os

gafanhotos são hemimetábolos, ou seja, possuem metamorfose in-

completa. As lagartas, larva das borboletas e mariposas (grupo dos

lepidópteros), são holometábolos, portanto apresentam metamorfose

completa.

- b) Quais são as fases de desenvolvimento representadas pelo gafanhoto alado e pela lagarta?

O gafanhoto alado representa a fase de adulto ou imago. A sequência

de fases do desenvolvimento dos insetos hemimetábolos é: ovo, ninfa,

adulto (imago).

A lagarta representa a fase de larva das borboletas e mariposas (lepi-

dópteros). A sequência de fases do desenvolvimento dos lepidópteros

é: ovo, larva (lagarta), pupa (crisálida), adulto (imago).

4. Uerj – Os primeiros artrópodes eram animais marinhos.

Ao longo do processo evolutivo, alguns membros desse grupo sofreram transformações que possibilitaram a eles a conquista do meio terrestre.

Uma transformação que contribuiu para a permanência destes artrópodes nesse ambiente seco foi

- a) circulação aberta.
- b) respiração traqueal.**
- c) fecundação externa.
- d) digestão extracorpórea.

A respiração traqueal permite a captação direta do oxigênio (O_2) presente no ar atmosférico pelos insetos (e também pelos miriápodos), e sua disponibilização para os tecidos e células dos animais através de uma rede de canais internos.

5. PUC-RS – Um animal foi encontrado e levado a um biólogo para identificação. O biólogo identificou o animal com base nas seguintes características:

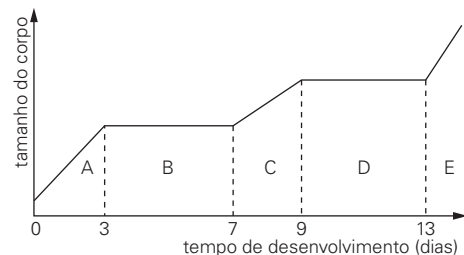
- 1) Presença de quelíceras
- 2) Ausência de antenas
- 3) Seis pares de apêndices
- 4) Exoesqueleto quitinoso

Segundo as características listadas, sabe-se que o animal é um artrópode, podendo ser identificado como um(a)

- a) formiga.
- b) caranguejo.
- c) piolho.
- d) escorpião.**
- e) centopeia.

As características identificadas do animal permitem classificá-lo como pertencente ao filo Arthropoda (exoesqueleto quitinoso), e ao grupo dos aracnídeos (escorpiões, aranhas, opiliões e ácaros), em virtude da presença de: quelíceras (apêndices da cabeça em forma de garra ou pinça), ausência de antenas e pelos e seis pares de apêndices – que são as quelíceras (1 par), os pedipalpos (1 par) e os apêndices locomotores (quatro pares de pernas).

6. Uninove-SP – O gráfico representa o crescimento de um animal invertebrado e as letras A, B, C, D e E representam diferentes períodos do seu desenvolvimento. **C8-H29**



- a) Indique a que filo pertence este animal. De acordo com o gráfico, quantos períodos este animal ficou sem crescer?

O animal pertence ao filo Arthropoda; membros do grupo dos artrópo-

des crescem apenas durante períodos em que trocam seu exoesque-

leto. O animal ficou sem crescer por dois períodos (B e D).

- b) Qual estrutura, desenvolvida por este animal, impede seu crescimento contínuo? Cite o nome do processo que permite o crescimento deste tipo de animal.

A estrutura que impede o crescimento contínuo dos artrópodes é o exoesqueleto, que após endurecer não é mais distensível; já o exoesqueleto novo é flexível (distensível) por um curto período, o qual permite que o animal cresça. O nome do processo que permite o crescimento dos artrópodes é ecdise ou muda.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da biologia para, em situações problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Interpretar experimentos ou técnicas que utilizam seres vivos, analisando implicações para o ambiente, a saúde, a produção de alimentos, matérias primas ou produtos industriais.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. **Uece (adaptada)** – Analise o que se afirma a seguir sobre os insetos:

- I. Possuem aparelhos bucais diferentes, sempre adaptados ao seu hábito alimentar específico.
- II. Suas asas são as estruturas morfológicas que os diferenciam de aracnídeos, ou seja, insetos são sempre animais voadores, enquanto aracnídeos são terrestres.
- III. Nos insetos, circulação e respiração não estão relacionadas, pois o sangue não atua no transporte dos gases respiratórios, como ocorre em outros animais.

Está correto o que se afirma em

- a) I e III. c) I e II.
b) I, II e III. d) II e III.
8. **Unicamp-SP** – Fósseis do organismo *Spriggina* (em vista dorsal na figura a seguir), que viveu há 550 milhões de anos, foram descobertos nas montanhas de Ediacara, na Austrália. Tais fósseis estão entre os mais antigos vestígios de seres multicelulares já encontrados.



Esse animal primitivo, cuja classificação desafia os pesquisadores, possui algumas características ainda encontradas na maioria dos animais existentes hoje. Esse animal apresenta

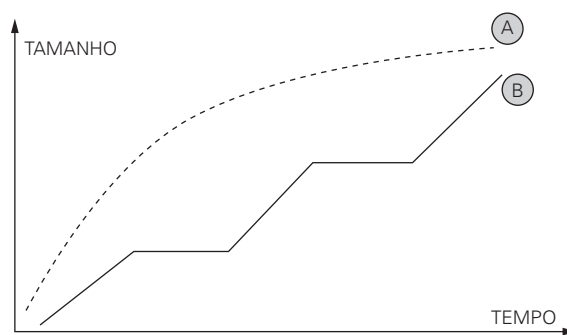
- a) simetria bilateral, com eixo ântero-posterior bem definido, características não encontradas em cnidários, poríferos e equinodermos.
- b) simetria radial, com eixo dorsoventral bem definido, características não encontradas em cnidários, moluscos e equinodermos.
- c) simetria dorsoventral, com eixo ântero-posterior bem definido, características não encontradas em cordados e poríferos e cnidários.
- d) simetria pentarradial, com eixo dorsoventral bem definido, características não encontradas em cnidários, cordados e equinodermos.

9. **UFJF-MG** – Foram registrados 33 casos de acidentes por picadas de escorpiões em Juiz de Fora, de janeiro a junho deste ano e, segundo o Ministério da Saúde, Minas Gerais lidera o *ranking* de acidentes envolvendo escorpiões.

Fonte: texto modificado a partir de <http://g1.globo.com/mg/zona-da-mata/mgtv-ledicao/videos/v/mais-de-30-pessoas-foram-picadas-porescorpiones-em-juiz-de-fora-em-2016/5155582/>. Acesso em: 17 set. 2016.

Qual das alternativas abaixo fornece informações incorretas sobre este grupo de animais?

- a) São aracnídeos e podem ser encontrados em locais com acúmulo de entulhos, tijolos, madeira e telhas.
 - b) Realizam fecundação interna e suas larvas se desenvolvem na água.
 - c) Diferem de outros artrópodes por não possuírem antenas nem mandíbulas.
 - d) São carnívoros e alguns dos insetos ingeridos por eles são considerados pragas agrícolas.
 - e) Possuem quelíceras e um par de pedipalpos ao redor da boca.
10. **Uema** – Anatomicamente, os insetos são bastante uniformes com apêndices, cabeça, tórax e abdômen, e a presença de um exoesqueleto. À medida que o animal vai crescendo, ocorre o rompimento desta “carapaça” em algum ponto do corpo do animal e essa estrutura é comumente encontrada abandonada. O gráfico abaixo mostra as linhas A e B, que representam curvas de crescimento de organismos.



PEZZI, Antônio C.; GOWDAK, Demétrio O.; MATTOS, Neide S. *Biologia: Ensino Médio*. São Paulo: FTD, 2014, p. 364.

Considerando o gráfico, indique a curva (A ou B) que define corretamente o crescimento dos insetos. Justifique sua resposta, analisando comparativamente as duas curvas.

11. IMED-RS (adaptada) – Em insetos, a troca de gases com o ambiente é realizada pelo sistema _____. Em aracnídeos, o sistema _____ supre essa função, já em crustáceos é feito por _____.

Assinale a alternativa que preenche, correta e respectivamente, as lacunas do trecho acima.

- a) pulmonar – filotraqueal – brânquias.
- b) branquial – pulmonar – pulmões.
- c) traqueal – traqueal – metanefrídeos.
- d) traqueal – filotraqueal – brânquias.
- e) branquial – pulmonar – pulmões.

12. UFJF-MG (adaptada) – Centopeias e piolhos-de-cobra são artrópodes caracterizados pela presença de um corpo alongado provido de muitas pernas, fato que deu nome ao grupo – miriápodes. Ambos vivem em ambientes muito úmidos e apresentam diferenças que se expressam em sua morfologia, seu comportamento e quanto ao tipo de alimentação.

As diferenças observadas nas centopeias [I] e nos piolhos-de-cobra [II] são:

- a) [I] um par de apêndices por segmento; incapazes de se enrolar; carnívoros. [II] dois pares de apêndices por diplossegmento; enrolam-se em espiral; herbívoros.
- b) [I] um par de apêndices por segmento; incapazes de se enrolar; herbívoros. [II] dois pares de apêndices por diplossegmento; enrolam-se em espiral; carnívoros.
- c) [I] dois pares de apêndices por diplossegmento; enrolam-se em espiral; onívoros. [II] um par de apêndices por segmento; incapazes de se enrolar; carnívoros.
- d) [I] dois pares de apêndices por diplossegmento; incapazes de se enrolar; herbívoros. [II] um par de apêndices por segmento; incapazes de se enrolar; onívoros.
- e) [I] um par de apêndices por segmento; incapazes de se enrolar; carnívoros. [II] dois pares de apêndices por segmento; incapazes de se enrolar; herbívoros.

13. UFRN – Se compararmos o comportamento de animais na busca por alimento, podemos observar que uma anêmona (cnidário) apresenta um comportamento mais restrito do que o camarão (artrópode). O camarão, muitas vezes, adquire seu alimento realizando caça e luta. Essa diferença comportamental se deve ao fato de os artrópodes possuírem

- a) um sistema digestório bem maior, necessitando de uma maior quantidade de alimento, enquanto que o cnidário, por apresentar um sistema digestório simples, alimenta-se muito pouco.
- b) um sistema nervoso maior, tornando-se mais inteligente para efetuar comportamentos variados, enquanto que o sistema nervoso do cnidário é bem menor, o que o torna um animal sésstil.
- c) um sistema digestório mais complexo, obrigando-o a uma busca mais seletiva de alimentos, enquanto que o cnidário possui apenas uma cavidade gastrovascular, permitindo-o se alimentar de qualquer coisa.
- d) um sistema nervoso mais complexo, permitindo uma maior variedade comportamental, enquanto que o cnidário possui um sistema nervoso difuso, que restringe seus comportamentos.

14. Famerp-SP – O óleo extraído dos frutos e sementes da sucupira (*Pterodone marginatus*), uma árvore do Cerrado brasileiro, possui propriedades capazes de eliminar totalmente as larvas do *Aedes aegypti*. Pesquisadores desenvolveram uma nanoemulsão que, diluída em água, funciona como larvívica. Testes realizados com o produto em outras fases de desenvolvimento do mosquito não tiveram efeito. Esse composto não utiliza solventes no preparo e é atóxico para o meio ambiente e para os seres humanos.

Fonte: Pesquisa Fapesp, fevereiro de 2016. (Adaptado)

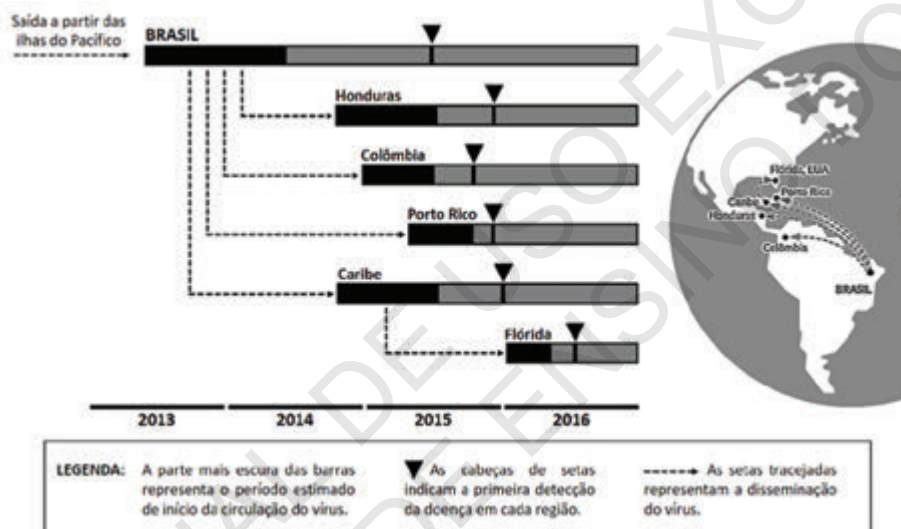
- a) Em que tipo de ambiente esse larvívica deve ser colocado? Além da larva, quais as outras três fases de desenvolvimento de um mosquito?

- b) Suponha que exista um inseticida capaz de vedar todos os espiráculos (orifícios laterais) dos insetos. Esse inseticida causaria a morte dos mosquitos? Justifique sua resposta.

15. UEPG-PR – Os artrópodes são animais que possuem corpos segmentados, exoesqueleto e apêndices articulados, acionados por músculos de contração rápida. Assinale o que for correto sobre o filo Arthropoda.

- 01)** Os aracnídeos possuem o corpo dividido em cabeça, tórax e abdome. Na cabeça há um par de antenas e dois olhos compostos. No abdome, podemos observar os maxilípedes, utilizados para manipulação de alimentos.
- 02)** O corpo dos insetos é dividido em cabeça, tórax e abdome. Possuem tubo digestório completo e digestão extracelular, enquanto a respiração é feita por traqueias.
- 04)** Nos crustáceos, o exoesqueleto é reforçado por sais de cálcio, geralmente possuem o corpo dividido em cefalotórax e abdome. O sangue dos crustáceos contém pigmentos respiratórios e a excreção depende de glândulas situadas na cabeça (glândulas verdes ou antenares).
- 08)** Nas aranhas, a digestão é extracorpórea, pois primeiramente ocorre a injeção de veneno na presa e depois a secreção de enzimas para digestão, quando finalmente o produto líquido é sugado.
- 16)** O crescimento nos artrópodes não é contínuo, como nos outros animais. O exoesqueleto sofre mudas ou ecdises ao longo do crescimento. O esqueleto antigo é denominado de exúvia.

16. UFSC – A disseminação do vírus zika a partir do Nordeste brasileiro ocorreu de forma rápida e discreta, pois a detecção da doença em diversos países demorou meses, conforme mostra a figura abaixo.



GUIMARÃES, M.; TOLEDO, K. Fronteiras ultrapassadas. Pesquisa FAPESP, n. 256, p. 51, jun. 2017. (Adaptado).

Com base na figura e sobre os assuntos relacionados à transmissão dos vírus e de seus vetores, é correto afirmar que

- 01)** a disseminação do vírus zika nas Américas ocorreu através das migrações periódicas do mosquito *Aedes aegypti*.
- 02)** o Nordeste brasileiro é a região de origem da contaminação com o vírus zika em seres humanos no mundo.
- 04)** a liberação de *Aedes aegypti* machos transgênicos para o controle da população desse mosquito é uma ameaça à saúde pública, pois eles transmitem os vírus da dengue, chicungunha e zika.
- 08)** o desenvolvimento larval do *Aedes aegypti* é holometábolo, assim como o de todos os representantes da classe dos insetos.
- 16)** o aquecimento global pode favorecer a propagação do *Aedes aegypti* e de outros mosquitos transmissores de doenças.
- 32)** o *Aedes aegypti*, ao longo do seu processo evolutivo, apresentou um nicho ecológico em expansão, com novos comportamentos que favoreceram a propagação dos vírus da dengue, chicungunha e zika.
- 64)** por ocasião da primeira detecção da doença no Nordeste brasileiro, foram confirmadas em Porto Rico microcefalias originadas pelo vírus zika.

17. UEL-PR – Leia o texto a seguir.

“O carrapato-estrela (*Amblyomma cajennense*), o mesmo que transmite a febre maculosa, também é vetor da bactéria *Borrelia burgdorferi*, que causa a Síndrome de Baggio-Yoshinari (SBY), uma doença infecciosa que foi registrada pela primeira vez na região de Londrina, popularmente chamada de Doença de Lyme.” Os possíveis casos de doença de Lyme, em 2017, deixaram a população de Londrina em alerta sobre a presença de carrapatos em animais domésticos.

Adaptado de: *Folha de Londrina*. Folha Saúde. 22 maio 2017. Disponível em: <<http://www.folhadelondrina.com.br/saude/londrina-temo-primeiro-caso-de-doenca-transmitida-pelo-carrapato-978135.html>>. Acesso em: 14 jun. 2017.

Com base no texto e nos conhecimentos sobre o tema, responda aos itens a seguir.

- a)** Os carrapatos pertencem a qual filo animal? Cite duas características desse filo.

- b)** Informe qual é o agente etiológico, o vetor e o hospedeiro da doença de Lyme, nesse texto.

ESTUDO PARA O ENEM**18. Enem****C8-H29**

A formação de coágulos sanguíneos em veias e artérias é um dos fatores responsáveis pela ocorrência de doenças cardiovasculares, como varizes, infarto e acidentes vasculares cerebrais. A prevenção e o tratamento dessas doenças podem ser feitos com drogas anticoagulantes. A indústria farmacêutica estimula a pesquisa de toxinas animais com essa propriedade.

Considerando as adaptações relacionadas aos hábitos alimentares, os animais adequados ao propósito dessas pesquisas são os(as)

- a)** moluscos fitófagos.
- b)** moscas saprófagas.
- c)** pássaros carnívoros.
- d)** morcegos frugívoros.
- e)** mosquitos hematófagos.

19. PUC-PR**C4-H16**

Segundo o Instituto Adolfo Lutz, em 2015, a febre maculosa vitimou duas crianças em Ourinhos (SP) e uma mulher de 35 anos em Santa Cruz do Rio Pardo (SP). Essa doença é transmitida ao ser humano e a outros animais domésticos pela picada do carrapato-estrela contaminado, que costuma infestar as capivaras e outros animais silvestres. O aumento de casos pode estar ocorrendo devido à migração crescente de animais silvestres para os parques e praças das cidades em fuga dos herbicidas, pesticidas e desmatamento das zonas rurais.

Os primeiros sintomas da febre maculosa são confundidos com os da dengue, o que pode ocasionar o tratamento de forma incorreta.

A mãe de uma das crianças, morta aos 12 anos, não se conforma com o possível erro médico, uma vez que, se diagnosticado rapidamente, um simples antibiótico resolveria o problema e teria salvado a vida de sua filha.

Com base no texto, analise as afirmativas:

- I.** A dengue e a febre maculosa são causadas por um patógeno do mesmo Reino.
- II.** A transmissão da dengue e da febre maculosa é feita por vetores da mesma classe.
- III.** A transmissão da dengue e da febre maculosa é feita por dois animais hematófagos.
- IV.** O uso de antibiótico resolve as duas doenças.

A(s) afirmativa(s) correta(s) é (são)

- a)** apenas I, II e IV.
- b)** apenas I e III.
- c)** apenas II e III.
- d)** apenas III.
- e)** apenas I, III e IV.

20. UPF-RS (adaptada)**C4-H16**

Em uma aula de zoologia, a professora colocou sobre a bancada do laboratório três bandejas com artrópodes, divididos segundo as características que seguem:

Bandeja 1: animais com corpo dividido em cefalotórax e abdome, dois pares de antenas e respiração branquial.

Bandeja 2: animais com um par de antenas, três pares de pernas e corpo dividido em cabeça, tórax e abdome.

Bandeja 3: animais sem antenas, quatro pares de pernas e corpo dividido em cefalotórax e abdome.

Com base nessas características, podemos afirmar que os animais das bandejas 1, 2 e 3 pertencem, respectivamente, às classes dos

- a)** insetos, aracnídeos e crustáceos.
- b)** aracnídeos, insetos e crustáceos.
- c)** insetos, crustáceos e aracnídeos.
- d)** crustáceos, insetos e aracnídeos.
- e)** crustáceos, aracnídeos e insetos.

EQUINODERMOS

22

Estrelas-do-mar, bolachas-da-praia e ouriços-do-mar estão entre os animais marinhos mais conhecidos, afinal é muito comum encontrá-los (ou mesmo seus fragmentos) na areia da praia. Esses animais pertencem ao filo Echinodermata (do grego: *echinos*, espinhos; e *derme*, pele). Como o nome sugere, os representantes do grupo geralmente apresentam espinhos na epiderme.

Outro representante desse filo pouco conhecido e sem a beleza de estrelas-do-mar é o pepino-do-mar. Este animal apresenta peculiaridades que tornam seu corpo único, diferente de todos os outros seres. Na massa muscular do pepino-do-mar, há colágeno e microestruturas calcificadas que possibilitam ao corpo ficar totalmente rígido quando ameaçado por um predador, ou bem maleável, possibilitando a movimentação. Logo, sua musculatura é a mais flexível do reino animal.

O estudo da morfologia do pepino-do-mar inspirou a criação de um material que revolucionou os implantes médicos. Os antigos implantes cerebrais eram bem mais rígidos que o tecido do cérebro e acabavam sendo rejeitados pelo corpo. Com base nas características de enrijecimento e flexibilidade do corpo do pepino-do-mar, cientistas desenvolveram novos implantes que reproduzem tal mecanismo. O novo material torna-se maleável na presença da água liberada pelas células cerebrais, garantindo maior flexibilidade e menor rejeição pelo organismo.



Pepino-do-mar (*Beroë argus*) no fundo do oceano.

ETHAN DANIELS/SHUTTERSTOCK

- Novidades evolutivas
- Características gerais
- Classificação
- Estrutura e morfologia
- Fisiologia
- Reprodução

HABILIDADES

- Reconhecer as características morfológicas e fisiológicas do filo Echinodermata.
- Conhecer a classificação do filo Echinodermata.
- Associar características adaptativas dos equinodermos com seu modo de vida e com seus limites de distribuição em diferentes ambientes.

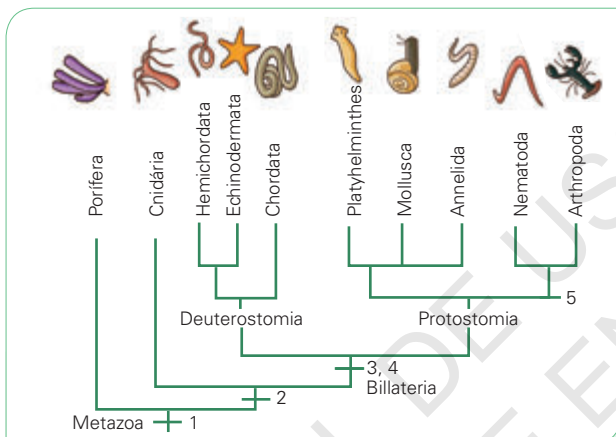
NOVIDADES EVOLUTIVAS

Os equinodermos são mais próximos evolutivamente do filo dos cordados que dos filões de invertebrados. Equinodermos e cordados fazem parte de um grande clado – o dos animais **deuterostômios** (do grego, *deuteros*, segundo) –, em que o primeiro orifício (blastóporo) formado durante o desenvolvimento embrionário é o ânus, enquanto a boca é o segundo. Equinodermos e cordados descendem, portanto, de ancestrais deuterostomados.

Outra novidade evolutiva surgida no ancestral comum de equinodermos e cordados é um celoma composto de **enterocelia**. O **celoma enterocélico** é revestido por mesoderme e formado por meio de evaginações ou bolsas da parede do intestino durante o desenvolvimento embrionário. Portanto, esse tipo de celoma é outra característica compartilhada por equinodermos e cordados.

RELAÇÕES EVOLUTIVAS

A filogenia abaixo mostra uma hipótese aceita atualmente sobre as relações filogenéticas dos filões animais.



Esquema de hipótese de relações de parentesco com base na filogenia animal atual.

Fonte: HICKMAN et al. *Princípios integrados de Zoologia*. 16. ed. São Paulo: Guanabara Koogan, 2016. (Adaptado).

Em termos de características, as novidades evolutivas compartilhadas pelos clados representados na filogenia acima são:

- blástula – compartilhada por todos os metazoários;
- gástrula – compartilhada por todos os animais que apresentam tecidos verdadeiros;
- simetria bilateral e presença de três folhetos embrionários – compartilhadas pelos animais do clado Bilateria;
- ecdise (muda) – troca periódica do revestimento externo do corpo (cutícula), processo que permite o crescimento do animal.

O clado Protostomia compreende os grupos animais cujo blastóporo origina a boca; o clado Deuterostomia reúne os grupos animais em que o blastóporo não origina a boca (o primeiro orifício formado do tubo digestório é o ânus).

CARACTERÍSTICAS GERAIS

Encontrados exclusivamente em ambiente marinho, os equinodermos são animais de vida livre (não há formas parasitas), se locomovem lentamente junto ao leito do oceano, ou bentônicos (vivem junto ao substrato). Atualmente são conhecidas cerca de 7 mil espécies viventes.

São animais triblásticos e celomados (enterocélicos). O corpo dos equinodermos está disposto ao longo de um eixo oral-aboral. Além disso, não possuem cabeça diferenciada e têm **endoesqueleto** (esqueleto interno de origem mesodérmica) calcário, constituído de placas ou ossículos (móveis ou fixos) que desempenham importante função na sustentação do corpo. Geralmente estão presentes espinhos e protuberâncias na superfície do corpo, que auxiliam na proteção do animal.

Equinodermos adultos apresentam **simetria radial**, geralmente sendo possível dividir seu corpo em cinco partes semelhantes (pentarradial). Já as larvas possuem simetria bilateral, uma evidência da descendência dos equinodermos de ancestrais bilateralmente simétricos.

Nos equinodermos, o celoma está subdividido internamente, fazendo parte de um sistema de canais e estruturas na superfície do corpo que forma o **sistema ambulacrário**, também chamado de **sistema hidrovacular** ou vascular aquífero. O sistema hidrovacular desempenha um grande número de funções. Os equinodermos são um grupo bem antigo de animais, com extenso registro fóssil (cerca de 20 mil espécies fósseis conhecidas).



Leito oceânico coberto por ouriços-do-mar.

CLASSIFICAÇÃO

O filo dos equinodermos é dividido em cinco classes: Asteroidea (estrelas-do-mar); Echinoidea (ouriços-do-mar e bolachas-da-praia); Holothuroidea (pepinos-do-mar ou holotúrias); Crinoidea (lírios-do-mar); e Ophiuroidea (serpentes-do-mar).

CLASSE ASTEROIDEA

Os principais representantes dos asteróides são as estrelas-do-mar. Possuem corpo achatado em formato de estrela, com cinco braços que saem do disco cen-

tral; os braços pouco se diferenciam do disco central. Têm superfície oral (que contém a boca) voltada para o substrato e ânus na região aboral (oposto ao substrato). Locomovem-se sobre o leito oceânico e são carnívoros, alimentando-se de crustáceos, moluscos, anelídeos e outros equinodermos.

TUNART/ISTOCKPHOTO

Estrela-do-mar, *Orthasteria koehleri*.

CLASSE ECHINOIDEA

Os equinóides são representados pelos ouriços-do-mar (corpo globoso) e pelas bolachas-da-praia (corpo achatado). Têm boca localizada na região oral, voltada ao substrato, e ânus na região aboral, oposta ao substrato. Além disso, esses animais não possuem braços. Apresentam cinco dentes calcários integrados à **lanterna de Aristóteles** (raspadores). São animais bentônicos que se movimentam arrastando-se pelo leito dos oceanos por meio de suas cinco fileiras de pés ambulacrais. Os ouriços-do-mar têm longos espinhos em torno do corpo, que estão associados a músculos, permitindo sua movimentação. Os espinhos têm função de defesa contra predação e podem auxiliar na locomoção desses animais. Alimentam-se principalmente de algas que vivem sobre rochas ou no substrato oceânico. Já as bolachas-da-praia têm espinhos menores que aqueles presentes em ouriços-do-mar.

CRYSTAL BOLIN PHOTOGRAPHY/ISTOCKPHOTO



Bolacha-da-praia na areia.

CLASSE HOLOTHUROIDEA

Os pepinos-do-mar são os representantes mais conhecidos dos holoturoídeos. De modo mais geral, os pepinos-do-mar não se parecem com os demais equinodermos por não possuírem espinhos, braços e pedicelárias, além de seu endoesqueleto ser bastante reduzido. Seu corpo é mole e alongado, com boca e ânus situados nas extremidades opostas a tal eixo. No entanto, uma análise mais cuidadosa revela que os pepinos-do-mar têm cinco fileiras de pés ambulacrais, de modo que alguns deles se desenvolveram como se fossem tentáculos, auxiliando na alimentação. Alimentam-se de detritos orgânicos no substrato oceânico.

Pepino-do-mar (*Isostichopus badionotus*).

SEADAM/DREAMSTIME.COM

Classe Crinoidea

Os lírios-do-mar são os representantes mais conhecidos dessa classe. Possuem corpo em forma de cálice ou taça. Vivem aderidos (fixos) ao substrato por um **pedúnculo** em parte ou durante toda a vida. Os braços dos crinóides circundam a boca; têm boca e ânus em posição oposta ao substrato. A maioria dos crinóides vive fixa, mas também há espécies que "nadam", rastejando sobre o substrato com os braços longos e flexíveis. Alimentam-se de plâncton ou de detritos orgânicos em suspensão na água, que são capturados pelos braços e levados até a boca.

Lírio-do-mar, *Antedon* sp.

BLUE-SEA.CZ/SHUTTERSTOCK

CLASSE OPHIUROIDEA

Os representantes do grupo são chamados de serpentes-do-mar ou estrelas-serpentes. Os ofiuroides têm um disco central distinto, braços longos, delgados e flexíveis claramente separados do disco central. Esses animais se locomovem mexendo seus braços em movimentos serpentiformes. A boca está voltada para o substrato, e o ânus é ausente. Seus pés ambulacrais também secretam substâncias adesivas. Algumas espécies alimentam-se de partículas em suspensão, mas também há espécies predadoras (que se alimentam de pequenos animais, como crustáceos e moluscos) ou necrófagas. Também não possuem pedicelárias.

PHOTO RESEARCHERS/LATINSTOCK



Serpente-do-mar ou serpente marinha, *Ophiopholis aculeate*.

ESTRUTURA E MORFOLOGIA

A estrela-do-mar, um dos representantes mais conhecidos do grupo, será utilizada como modelo para a descrição da morfologia e fisiologia dos equinodermos, embora haja grande variação entre as diferentes classes.

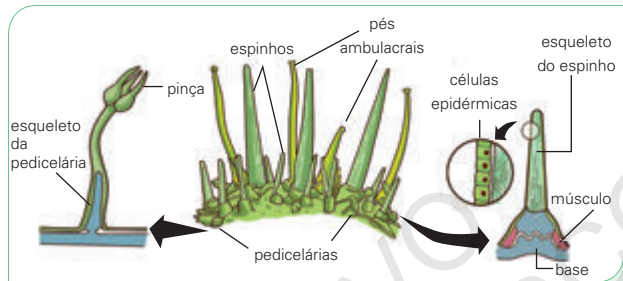
O corpo de uma estrela-do-mar consiste de um disco central de onde, geralmente, partem cinco braços. Na superfície aboral há vários espinhos calcários, componentes do esqueleto. Entre os espinhos, projetam-se da parede do celoma para fora do corpo as **pápulas** (brânquias dérmicas ou papilas), pequenas e moles, que desempenham funções de troca de gases e excreção. Ao redor dos espinhos e entre as pápulas há pequenos apêndices em forma de pinça, chamados **pedicelárias**, que mantêm a superfície corporal livre de detritos e auxiliam na captura de alimento. Em alguns ouriços-do-mar as pedicelárias estão associadas a glândulas de veneno.

MICHAELSTUBBLEFIELD/STOCKPHOTO



Estrela-do-mar (*Fromia monilis*), classe dos asteroides.

Revestindo todo o corpo há uma epiderme ciliada, fina, abaixo da qual está o **endoesqueleto calcário**. O endoesqueleto é composto de muitos ossículos calcários, pequenos, unidos por tecido conjuntivo e ligados a fibras musculares.



Representação da morfologia externa de um equinodermo (ouriço-do-mar). Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Fonte: AMABIS, José M.; MARTHO, Gilberto R. *Biologia*. 3. ed. São Paulo: Moderna, 2010. p. 292. v. 2.

FISIOLOGIA

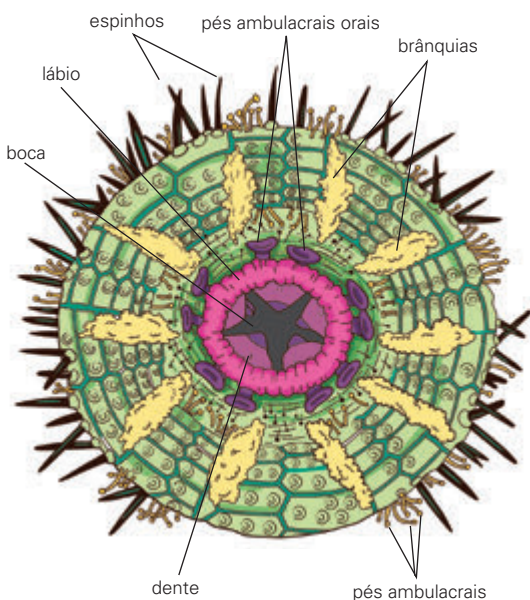
Com exceção dos ofiuroides (serpentes-do-mar), os equinodermos apresentam **sistema digestório completo**, que compreende boca, estômago saculiforme ligado aos cecos hepáticos (ou glândulas digestivas), intestino curto e ânus. Geralmente se alimentam de moluscos, crustáceos, poliquetas e outros equinodermos. Quando uma estrela-do-mar se alimenta de um bivalve, muitas vezes fica sobre a presa e agarra as valvas opostas com os pés ambulacrários para separá-las. Em seguida, o estômago evertido pela boca é colocado na concha. O estômago secreta muco e os cecos hepáticos produzem enzimas digestivas. Posteriormente, o estômago e o alimento, que começou a ser digerido externamente, são recolhidos para dentro do corpo.



Serpente-do-mar (*Ophiotrix* sp.), único equinodermo com sistema digestório incompleto.

SEADAM/DREAMSTIME.COM

Os ofiuroides, que são desprovidos de ânus (sistema digestório incompleto), eliminam as fezes pela boca. Nos **equinoides** (ouriços-do-mar e bolachas-da-praia), há uma estrutura junto à boca que contém cinco dentes fortes associados a músculos desenvolvidos: a **lanterna de Aristóteles**. Esta estrutura é usada na alimentação para a raspagem e a trituração de algas e pequenos animais presos ao substrato.



Representação da superfície oral de um ouriço-do-mar. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Fonte: AMABIS, José M.; MARTHO, Gilberto R. *Biologia*. 3. ed. São Paulo: Moderna, 2010. p. 293. v. 2.

SISTEMA AMBULACRAL OU HIDROVASCULAR

Uma característica marcante e exclusiva dos equinodermos é a presença do sistema ambulacral ou sistema hidrovascular, uma parte especializada do celoma. O sistema hidrovascular é formado por um conjunto de canais por onde a água circula e que exerce as funções de distribuição de substâncias, troca de gases, captura de alimento, excreção e locomoção.

Compõe-se de um canal circular ou anelar em torno da boca, o qual é conectado por meio de um canal curto (canal pétreo) à placa madreporica (ou **madreporito**) – placa perfurada na superfície aboral, localizada ao lado do ânus.

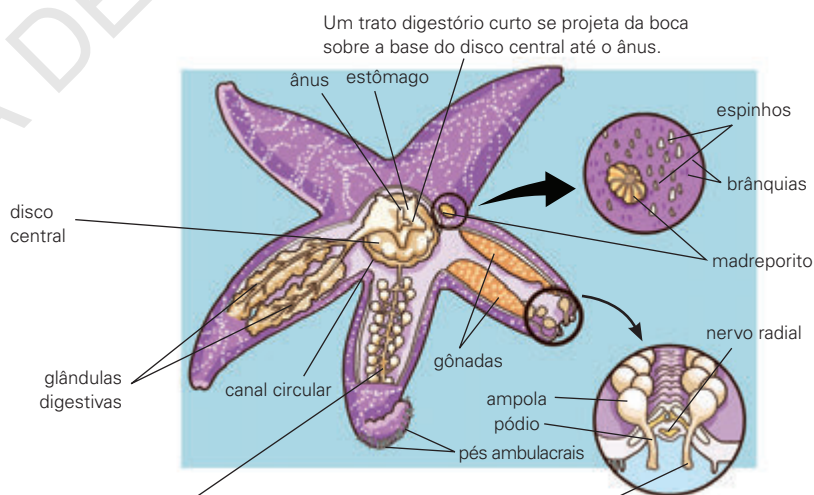
A água entra no sistema hidrovascular através da placa madreporica. Do canal circular partem cinco canais radiais, cada um dirigindo-se para um dos braços. De cada canal radial ramificam-se canais menores, em cujas extremidades encontram-se os **pés ambulacrais** – pequenas bolsas de parede muscular que contêm uma ventosa na extremidade externa (que fica fora do corpo) e uma ampola (semelhante a um bulbo) na extremidade interna (dentro da cavidade do corpo). Os pés ambulacrais projetam-se para o exterior nos sulcos ambulacrais.



Detalhe dos pés ambulacrais no interior do sulco ambulacral de uma estrela-do-mar (*Oreaster* sp.).

DAN BAGUR/SHUTTERSTOCK

Quando a ampola se contrai, o líquido é enviado para o pé ambulacral, que se estende. Ao tocar um objeto, os músculos do pé ambulacral são contraídos, retornando o líquido para a ampola. A pressão no pé ambulacral diminui, causando a aderência ao objeto, que é auxiliada pela produção de secreções adesivas pelo pé ambulacral. Os pés ambulacrais funcionam de forma coordenada durante a adesão ao substrato, na locomoção, na captura e no manuseio do alimento.



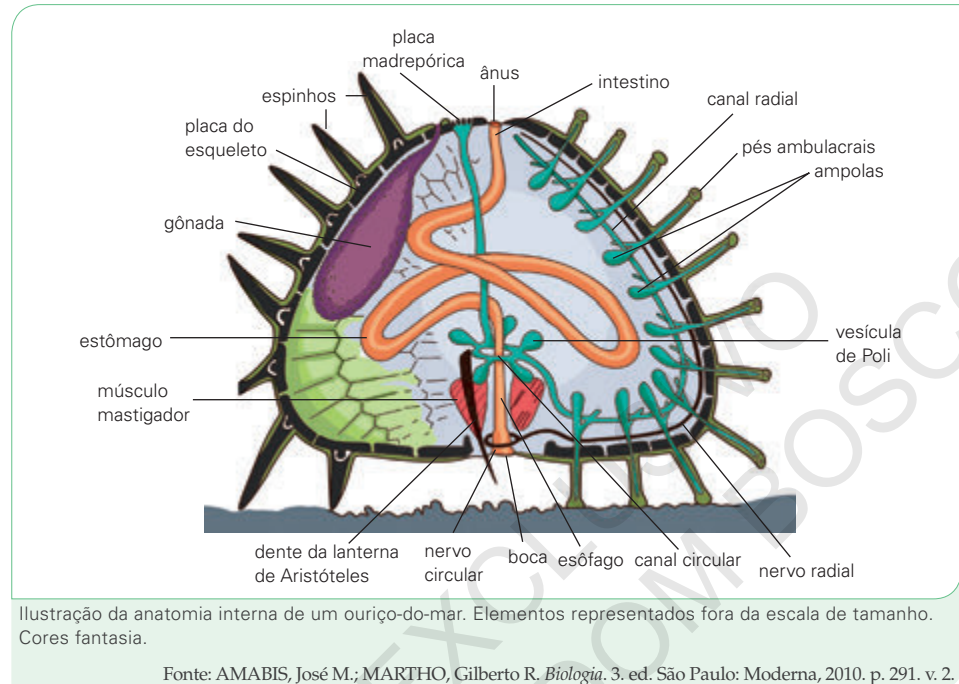
Canal radial: o sistema vascular aquífero consiste em um canal circular no disco central e cinco canais radiais, cada um se estendendo por uma reentrância por todo o comprimento do braço.

Cada pé ambulacral consiste em uma ampola em forma de bulbo e de um pódio (porção do pé).

Ilustração da anatomia de uma estrela-do-mar (vista da superfície aboral) com destaque para o sistema ambulacral. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Fonte: REECE et al. *Biologia de Campbell*. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015. p. 681.

Nos ofiuroides e nos crinoides, os pés ambulacrais não têm ventosas, sendo utilizados principalmente para a captura de alimento, em vez de servirem para a locomoção.



Com sistema circulatório ausente ou rudimentar, a distribuição de substâncias pelo corpo ocorre através da cavidade celomática. A troca de gases e a eliminação de excretas são realizadas por difusão através das pápulas e dos pés ambulacrais. Nos pepinos-do-mar, as trocas gasosas e a excreção ocorrem por dois longos tubos extremamente ramificados, denominados árvore respiratória. Não há pigmentos transportadores de oxigênio.

SISTEMA NERVOSO

O sistema nervoso é simples, sem cefalização, consistindo de um anel nervoso ao redor da boca, de onde saem nervos radiais, um para cada braço. Embora não exista gânglios centrais, há certa coordenação na execução de atividades. Células sensoriais não especializadas geralmente estão presentes na epiderme, e na extremidade de cada braço existe um ocelo.

Reprodução

Equinodermos, em geral, são dioicos. Não possuem órgãos copulatórios elaborados e não exibem dimorfismo sexual, tendo somente uma gônada. A fecundação é externa, com a liberação dos gametas diretamente na água.

O desenvolvimento geralmente é indireto; cada classe possui uma larva característica, que é livre-natante e tem simetria bilateral. Durante a metamorfose, passam por uma complexa reorganização do padrão corporal, originando adultos de simetria radial (pentarradial). As larvas são os principais agentes de dispersão dos equinodermos, uma vez que os adultos são sedentários (pouca locomoção) ou sésseis.

As estrelas-do-mar têm grande capacidade de autotomia, podendo destacar braços danificados e regenerá-los, o que possibilita a reconstrução de braços e partes do disco central. Estudos experimentais mostraram que algumas estrelas-do-mar são capazes de formar um novo animal completo a partir de um único braço ligado a cerca de 20% do disco central. Algumas espécies realizam um tipo de reprodução assexuada em que se dividem espontaneamente em duas partes, e cada uma origina um novo indivíduo.

ROTEIRO DE AULA

ECHINODERMATA

Características gerais

deuterostômios

celoma:

enterocélico

endoesqueleto do tipo:

calcário

simetria:

pentarradial

segmentação ausente

enterozoários:

completos

triblásticos

Reprodução

sem dimorfismo sexual

dioicos

reprodução assexuada

fissão eregeneração

reprodução sexuada

desenvolvimento:

indireto

fecundação:

externa

larva com simetria bilateral

Fisiologia

sistema hidrovascular

sistema nervosolocomoção

anel ao redor da boca e nervos radiais (não encefalizado)

trocas gasosas

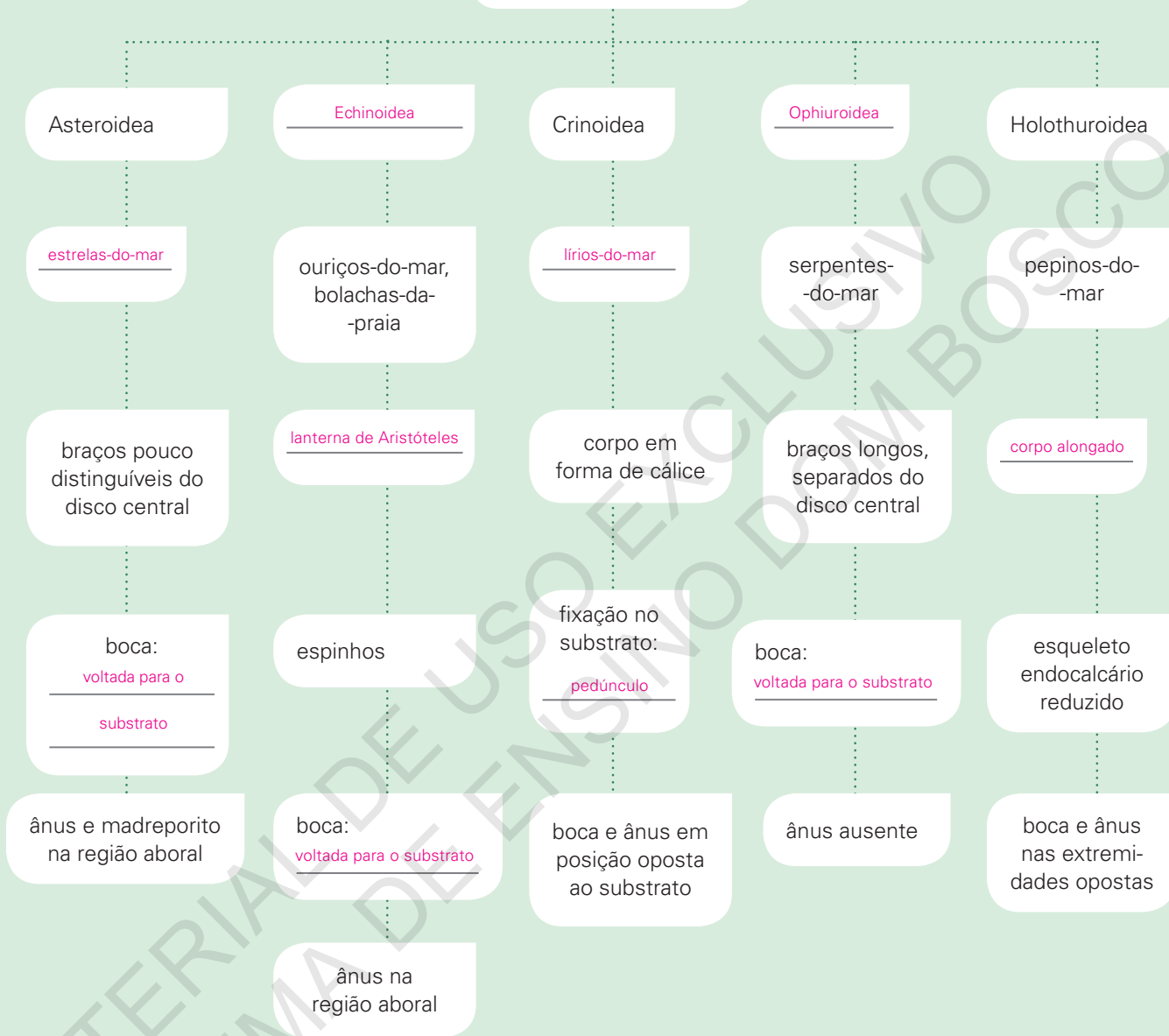
eliminação deexcretas

distribuição de substâncias

captura depresas

ROTEIRO DE AULA

Classificação (classes)



EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. Sistema Dom Bosco – O filo Echinodermata compreende atualmente cerca de 7000 espécies. Entre seus representantes mais conhecidos estão as estrelas-do-mar e os ouriços-do-mar. Sobre os equinodermos da classe Asteroidea, é correto afirmar que

- a) não possuem ânus.
- b) possuem braços claramente separados do disco central.
- c) possuem um endoesqueleto calcário revestido pela epiderme.
- d) apresentam o sistema hidrovascular pouco desenvolvido.
- e) nem todos são marinhos.

Todos os equinodermos são marinhos. A classe dos asteroídeos (estrelas-do-mar) apresenta sistema digestório completo, braços que são dificilmente discerníveis do disco central e possuem o sistema hidrovascular bastante desenvolvido.

2. Unicamp-SP – Levantamentos faunísticos da serapilheira (material recém-caído no solo, constituído principalmente de folhas, cascas, galhos, flores, frutos e sementes) de florestas tropicais revelam a presença de uma grande variedade de espécies nessa camada superficial do solo. Considerando-se os diferentes filos animais, espera-se encontrar na serapilheira representantes de

- a) Chordata, Arthropoda, Cnidaria.
- b) Echinodermata, Anellida, Mollusca.
- c) Chordata, Arthropoda, Mollusca.
- d) Echinodermata, Anellida, Cnidaria.

Os filos Cnidária e Echinodermata apresentam representantes exclusivamente aquáticos e marinhos, no caso dos equinodermos.

3. Fuvest-SP (adaptada) – Os equinodermos são animais deuterostômios marinhos que apresentam simetria radial na fase adulta e bilateral na fase de larva.

A palavra deuterostômio deriva do grego: *deuteros* = = segundo, secundário; *stoma* = boca. Que característica justifica denominar os equinodermos como deuterostômios? Cite outro filo animal com o qual essa característica é compartilhada.

Os equinodermos são denominados deuterostômios porque o primeiro orifício (blastóporo) formado durante a fase embrionária é o ânus, enquanto a boca é o segundo. Os animais do filo cordado também são deuterostômios.

4. Sistema Dom Bosco – Os animais que apresentam o mesmo tipo de simetria durante a fase adulta são

- a) esponjas e cnidários.
- b) planárias e cnidários.
- c) esponjas e equinodermos.
- d) cnidários e equinodermos.
- e) equinodermos e moluscos.

Os equinodermos adultos possuem simetria radial ou pentarradial; o único filo citado que também compreende animais com simetria radial é o dos cnidários. Poríferos, em sua maioria, possuem corpo sem simetria (assimétrico).

5. UPF-RS

“Um pequenino grão de areia que era um pobre sonhador olhando o céu viu uma estrela e imaginou coisas de amor (...)

(...) o que há de verdade é que depois, muito depois apareceu a estrela do mar”

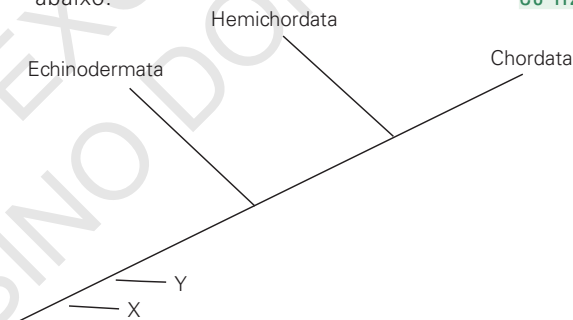
(Herivelto Martins)

As estrelas do mar são

- a) equinodermos com revestimento calcário, sem espinhos e tecido muscular.
- b) equinodermos com epiderme recobrendo os espinhos calcários articulados às placas do endoesqueleto.
- c) equinodermos com epiderme queratinizada nos pés ambulacrais e superfície corporal lisa.
- d) poríferos com epiderme recobrendo os espinhos calcários articulados às placas do esqueleto.
- e) poríferos com epiderme queratinizada nos pés ambulacrais.

As estrelas-do-mar e ouriços-do-mar fazem parte do filo dos equinodermos. Os equinodermos possuem um endoesqueleto calcário composto de placas, que é recoberto por uma epiderme fina. Os espinhos são estruturas articuladas às placas do endoesqueleto em razão da presença de músculos associados, o que permite a movimentação deles. A epiderme dos equinodermos não possui queratina.

6. UFSJ-MG (adaptada) – Analise o cladograma abaixo. C8-H28



No cladograma apresentado, as letras X e Y poderiam ser substituídas corretamente por quais características?

As letras X e Y, no cladograma, referem-se a novidades evolutivas que

surgiram no ancestral comum de Echinodermata, Hemichordata e Chordata, portanto, são características compartilhadas pelos três filos. Essas características são: deuterostomia (a boca é o segundo orifício formado ao longo do desenvolvimento embrionários); enterocelia (celoma revestido por mesoderme, formado por meio de evaginações ou bolsas da parede do intestino durante o desenvolvimento embrionário).

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da biologia para, em situações problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Associar características adaptativas dos organismos com seu modo de vida ou com seus limites de distribuição em diferentes ambientes, em especial em ambientes brasileiros.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. Uece (adaptada) – Analise as informações relacionadas aos equinodermos e assinale com V as verdadeiras e com F as falsas.

- () A grande maioria possui sistema digestivo completo, isto é, boca, esôfago, estômago, intestino e ânus.
- () Apresentam sistema nervoso complexo, formado por neurônios conectados a um órgão central de comando.
- () Reproduzem-se através da liberação de gametas em meio aquático, portanto, a fecundação ocorre externamente.

A sequência correta, de cima para baixo, é

- a) F, V, V.
- b) V, F, F.
- c) F, V, F.
- d) V, F, V.

8. UFRGS-RS (adaptada) – A coluna da esquerda, abaixo, apresenta características de diferentes grupos de invertebrados; a da direita, três grupos de invertebrados.

Associe adequadamente a coluna da direita à da esquerda.

- 1) Rádula como estrutura para () Crustáceos
alimentação.
- 2) Locomoção realizada pelo () Moluscos
sistema ambulacrário.
- 3) Corpo revestido por exoes- () Equinodermas
queleto.

A sequência correta de preenchimento dos parênteses, de cima para baixo, é

- a) 3 – 2 – 1.
- b) 3 – 1 – 2.
- c) 1 – 2 – 3.
- d) 2 – 1 – 3.

9. UEL-PR



A figura lembra o sistema hidrovascular ou ambulacrar de um equinodermo. Esse sistema atua na locomoção, respiração, captura de alimento e como órgão sensorial, consistindo em um conjunto de canais no interior do corpo e de prolongamentos tubulares, os pés ambulacrários, que se projetam para fora através de poros.

Com relação às principais características das classes de equinodermas, assinale a alternativa correta.

- a) As estrelas-do-mar apresentam cinco braços ramificados e flexíveis, com a boca e o ânus localizados na região oposta ao substrato.
- b) As serpentes-do-mar possuem cinco braços finos e flexíveis, separados uns dos outros e ligados a um disco central, com a boca localizada na região voltada para o substrato.
- c) Os lírios-do-mar possuem cinco braços, a boca e os pés ambulacrários localizados na região voltada para o substrato e o ânus na região superior.
- d) Os ouriços-do-mar, desprovidos de braços, diferem do padrão do filo, com a boca localizada em uma das extremidades do corpo, rodeada por tentáculos, e o ânus na região oposta.
- e) Os pepinos-do-mar têm a boca localizada na região voltada para o substrato, o ânus na região superior e os pés ambulacrários distribuídos por todo o corpo.

10. Unicamp-SP – Um zoólogo recebeu um animal marinho encontrado em uma praia. Ao tentar identificá-lo com o auxílio de uma lupa, o pesquisador notou, na superfície corporal do animal, a presença de espinhos e de estruturas tubulares, identificadas como pés ambulacrários.

- a) Com base nesses elementos da anatomia externa, determine o filo a que pertence o animal em análise. Nomeie uma classe desse filo e dê um exemplo de um animal que a represente.

- b) Explique como ocorre a reprodução dos animais pertencentes a esse filo.

11. Sistema Dom Bosco – Assinale a alternativa que reúne animais triblásticos e celomados.

- a) Nematódeos, platelmintos, equinodermos.
- b) Platelmintos, anelídeos, moluscos.
- c) Poríferos, moluscos, equinodermos.
- d) Moluscos, equinodermos, anelídeos.
- e) Equinodermos, nematódeos, moluscos.

12. Sistema Dom Bosco – Assinale a alternativa que cita uma característica não encontrada em todas as classes de equinodermos.

- Cabeça ausente.
- Sistema hidrovacular.
- Simetria radial (pentarradial).
- Região oral voltada para o substrato.
- Sistema hidrovacular.

13. Sistema Dom Bosco – Equinodermos e cnidários, apesar de distantemente aparentados, possuem algumas características similares, **com exceção de**

- sistema nervoso sem encefalização.
- ausência de sistemas excretor e respiratório.
- sistema hidrovacular.
- simetria radial.

14. Fuvest-SP (adaptada) – Os equinodermos são animais deuterostômios marinhos que apresentam simetria radial na fase adulta e bilateral na fase de larva.

No desenvolvimento dos equinodermos, verifica-se a transição de simetria bilateral para simetria radial. Essa sequência reflete o que ocorreu com a simetria ao longo da evolução dos metazoários invertebrados? Justifique sua resposta.

15. Mackenzie-SP – Considere os grupos de invertebrados relacionados abaixo e as características descritas.

Grupos de invertebrados	Características
I. Platelmintos	1. Excreção por células-flama
II. Anelídeos	2. Deuterostômios (blastóporo dá origem ao ânus)
III. Nemátodos	3. Pseudocelomados
IV. Equinodermos	4. Respiração pulmonar ou branquial
V. Moluscos	5. Celomados

A alternativa que relaciona corretamente o grupo de invertebrado com as características é:

	I	II	III	IV	V
a)	1	5	3	2	4
b)	2	1	4	5	3
c)	3	2	5	1	4
d)	5	1	2	4	3
e)	1	3	5	2	4

16. Sistema Dom Bosco – Com relação às características gerais e aos aspectos anatômicos e fisiológicos dos equinodermos, julgue as afirmativas a seguir e assinale a alternativa correta.

- Com exceção dos ofiuroides, grupo em que o ânus está ausente, equinodermos são deuterostômios.
 - Estruturas especializadas para a excreção e respiração estão ausentes nos equinodermos.
 - A lanterna de Aristóteles, estrutura usada na alimentação, está presente apenas na classe dos crinoides.
- Somente a afirmativa I está correta.
 - Somente a afirmativa II está correta.
 - Somente a afirmativa III está correta.
 - Somente as afirmativas I e III estão corretas.
 - Todas as afirmativas estão corretas.

17. UEM-PR (adaptada) – Analise a classificação e a caracterização dos grupos animais a seguir.

- São exemplos de animais acelomados: as esponjas e as lombrigas; de pseudocelomados: as solitárias e as planárias; e de celomados: os ouriços-do-mar e os macacos.
 - Os cnidários apresentam dois folhetos embrionários e são os primeiros animais da escala evolutiva a ter cavidade digestiva.
 - As minhocas são deuterostômios, celomados e triblásticos.
 - As estrelas-do-mar pertencem ao filo Chordata, pois apresentam esqueleto interno.
- Identifique a(s) alternativa(s) correta(s).

b) Corrija as afirmativas incorretas, tornando-as verdadeiras.

ESTUDO PARA O ENEM

18. UFPR (adaptada)

C8-H28

Durante a metamorfose, um animal pode sofrer alterações marcantes na estrutura do seu corpo. Contudo, a magnitude dessas alterações varia entre os grupos de animais. Sobre esse tema, considere as seguintes afirmativas:

- 1) Em cnidários, tanto pólipos como medusas apresentam o mesmo sistema respiratório.
- 2) Larvas e adultos de equinodermos normalmente têm o mesmo tipo de simetria.
- 3) Girinos e sapos diferem em seus sistemas respiratórios.
- 4) Em algumas espécies de borboletas, imaturos podem ter uma dieta completamente diferente da dieta de adultos.

Assinale a alternativa correta.

- a) Somente as afirmativas 1 e 2 são verdadeiras.
- b) Somente as afirmativas 1, 3 e 4 são verdadeiras.
- c) Somente as afirmativas 2 e 3 são verdadeiras.
- d) Todas as afirmativas são verdadeiras.
- e) Somente as afirmativas 1, 2 e 3 são verdadeiras.

19. UEPB

C4-H16

Enquanto a Eco-92 ficou conhecida como a Cúpula da Terra, a Rio20 foi muitas vezes citada como a "Cúpula dos Mares". O documento final aprovado pelos Chefes de Estado traz como uma de suas metas a redução dos detritos marinhos, em especial plástico, até 2025. O desenvolvimento de uma rede global de áreas marinhas protegidas internacionais e a criação de mecanismos de governança global dos oceanos para preservar a biodiversidade e os recursos genéticos também estavam em pauta. Sobre os *Echinodermata*, animais exclusivamente marinhos, assinale a alternativa correta:

- a) O caráter compartilhado que aproxima o filo *Echinodermata* do filo *Chordata* é a presença de notocorda na fase embrionária.

- b) Os *Echinodermata* apresentam organização pentaradiada, com larvas de simetria bilateral, esqueleto calcário externo, triblásticos e deuterostômios.
- c) A forma básica de reprodução desses animais é assexuada.
- d) É o único grupo do reino animal que possui um sistema aquífero responsável pelas funções de circulação, locomoção, respiração, excreção e percepção.
- e) Conchas, estrelas-do-mar e ouriços-do-mar são seus representantes mais conhecidos.

20. Sistema Dom Bosco

C8-H28

Observe a seguir o quadro das características dos grupos de equinodermos. Assinale a alternativa com a associação correta das duas colunas.

Classe	Característica
I. Crinoidea	1. Ânus ausente
II. Asteroidea	2. Boca e ânus em posição oposta ao substrato
III. Echinoidea	3. Não possui braços
IV. Holothuroidea	4. Apresenta lanterna de Aristóteles
V. Ophiuroidea	5. Boca voltada para o substrato e ânus na região aboral

	I	II	III	IV	V
a)	4	5	3	2	1
b)	2	1	4	5	3
c)	3	2	5	1	4
d)	5	1	2	4	3
e)	2	5	4	3	1

EXERCÍCIO INTERDISCIPLINAR

21. Sistema Dom Bosco

Os recifes, muitas vezes descritos como as florestas tropicais dos oceanos, ocupam menos de 1% do leito marinho, mas fornecem habitat para um milhão de espécies, incluindo 1/4 dos peixes do mundo, além de uma rica fauna associada aos recifes, como esponjas, ermitãos, lulas, cracas, pepinos-do-mar e turbelários. Também protegem o litoral da erosão devido às tempestades tropicais e atuam como uma barreira contra a subida do nível do mar.

"É assustador pensar nas repercussões da perda global e em grande escala dos recifes", afirma Ruth Gates, diretora do Instituto Havaiano de Biologia Marinha, Havaí. "A redução de víveres, a falta de proteção costeira à medida que o recife colapsa e a subsequente erosão dos solos irão tornar alguns locais inabitáveis, e as pessoas terão de mudar-se. E isto para não falar do colapso do turismo associado aos recifes."

PARKER, Laura; WELCH, Craig. Alerta: os recifes de coral poderão desaparecer em 30 anos. National Geographic (on-line). 9 nov. 2018. Disponível em: <<https://www.natgeo.pt/meio-ambiente/2017/08/alerta-os-recifes-de-coral-poderao-desaparecer-em-30-anos>>. Acesso em: dez. 2018. (Adaptado).

Analise os itens a seguir.

- I. O branqueamento dos recifes de coral, decorrência do aquecimento global, leva à morte dos corais.
- II. No texto são mencionados animais pertencentes a diferentes filos, entre os quais estão o filo dos poríferos, anelídeos, equinodermos, crustáceos, moluscos e vertebrados.
- III. As mudanças climáticas estão levando ao aquecimento dos oceanos, o que causa a morte dos recifes de coral porque, quando a água atinge temperaturas mais altas, os corais não conseguem incorporar o carbonato de cálcio em seus esqueletos, ficando mais frágeis e aumentando sua mortalidade.

Quais afirmativas estão corretas?

- a) I, II e III.
- b) Apenas I.
- c) Apenas II.
- d) II e III.
- e) Nenhuma das alternativas.



MATERIAL DE USO EXCLUSIVO DO BOSCO
SISTEMA DE ENSINO

BIOLOGIA 3A

CIÊNCIAS DA NATUREZA E SUAS TECNOLOGIAS



- Respiração
- Comparação entre os sistemas de respiração dos animais
- Sistema respiratório humano

HABILIDADES

- Compreender as características e as funções gerais do sistema respiratório.
- Reconhecer comparativamente os diversos padrões de respiração dos animais.
- Identificar os órgãos e as estruturas que fazem parte da respiração de seres humanos.
- Entender as diferenças entre os mecanismos de trocas gasosas, de ventilação pulmonar e de controle do processo respiratório.

SISTEMA RESPIRATÓRIO

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), um terço da população mundial adulta (aproximadamente 1 bilhão e 200 milhões de pessoas) é fumante. O cigarro, além de nicotina, alcatrão e monóxido de carbono, contém mais de 4 mil substâncias tóxicas e é considerado a principal causa de óbito evitável do mundo, causando a morte de 20 milhões de pessoas anualmente.

O cigarro não faz mal somente aos pulmões, afeta também as vias respiratórias como um todo. O aparelho respiratório não suporta a toxicidade nem a alta temperatura da fumaça. O epitélio de revestimento desses órgãos começa a produzir mais muco, a fim de expelir os elementos inalados e aumentar a taxa de renovação celular dessas regiões. Nos brônquios, a fumaça provoca uma reação inflamatória, causando a destruição progressiva da estrutura dos bronquíolos. Além desses malefícios, o cigarro promove também o aumento da chance de morte por câncer de boca e pulmão, por doenças do coração, bronquite e enfisema, causa impotência sexual e infertilidade, dependência física e psíquica, entre vários outros efeitos colaterais.

Todos os prejuízos à saúde não são exclusivos dos fumantes ativos, de modo que as pessoas que convivem de perto com fumantes – chamadas de fumantes passivos – também são amplamente afetadas, aumentando a chance de desenvolverem doenças respiratórias crônicas (sinusite, bronquite e asma, bem como crises de falta de ar), câncer de pulmão etc.

Além de ser considerado um sério problema de saúde pública, o tabagismo é um grande problema ambiental, já que as pontas de cigarro representam grande parte do lixo recolhido nas ruas. E, ainda, são muitos os incêndios causados por pontas de cigarro acesas descartadas incorretamente.



Ilustração do impacto do cigarro sobre os bronquíolos no corpo humano. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Respiração

O termo **respiração**, em Biologia, pode se relacionar a dois processos: à **respiração celular**, que envolve a quebra (oxidação) de moléculas orgânicas para a geração de energia, e à respiração como mecanismo de **trocas gasosas** entre as estruturas respiratórias e o ambiente, que corresponde aos sistemas de obtenção de oxigênio e eliminação de gás carbônico. Os dois processos estão relacionados entre si, pois a participação do oxigênio nas reações da respiração celular depende de sua absorção nas vias respiratórias.

O sistema respiratório tem como função conduzir o ar para os locais onde são realizadas as trocas gasosas, sendo também responsável pela oxigenação sanguínea, pela retirada do CO_2 proveniente do metabolismo celular do sangue para o meio exterior e pela passagem de ar por meio das cordas vocais, propiciando a fala.

TROCAS GASOSAS

As trocas gasosas são realizadas pelo processo de **difusão**, isto é, o gás passa do meio onde está em maior concentração para onde sua concentração é menor. Assim, nos organismos aquáticos, como os peixes, o oxigênio é difundido da água para as brânquias, e o gás carbônico, das brânquias para a água. Nos animais terrestres pulmonados, o oxigênio é difundido do ar para os pulmões, e o gás carbônico, dos pulmões para o ar.

As trocas gasosas podem ocorrer em células ou em órgãos adaptados, mas todos os locais de troca gasosa apresentam superfície permanentemente úmida, ricamente vascularizada e com grande superfície de contato, que são fatores essenciais para o processo de respiração.

Comparação entre os sistemas de respiração dos animais

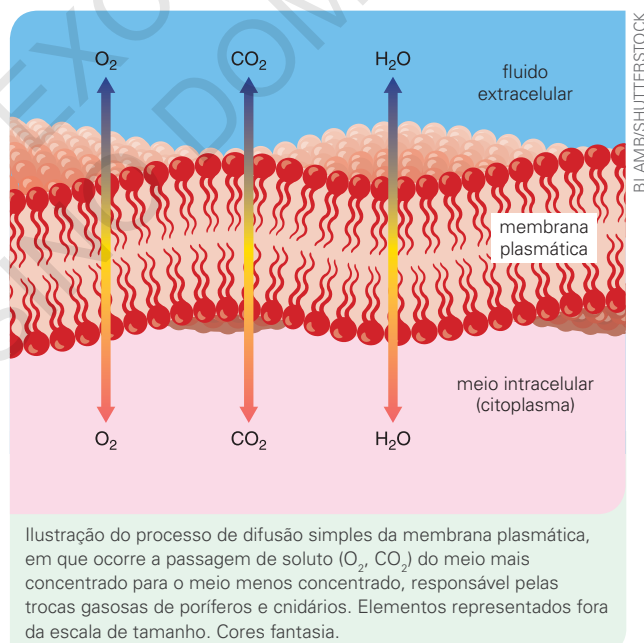
O sistema respiratório sofreu muitas adaptações ao longo da evolução das espécies e apresenta grande eficiência nos mecanismos de trocas gasosas com o ambiente.

A transição dos répteis da vida aquática para a terrestre representou uma revolução na maneira como esses animais realizam suas trocas gasosas, já que o ar é mais rico em oxigênio que a água. Na atmosfera atual, cerca de 21% do ar é oxigênio; na água, mesmo saturada de oxigênio, essa proporção não passa de 0,4%. Além disso, a água é muito mais densa que o ar, de modo que processá-la requer maior gasto energético.

Componentes do ar atmosférico atual

Gases atmosféricos	Quantidade aproximada
Nitrogênio (N_2)	78%
Oxigênio (O_2)	21%
Gases nobres	0,91%
Gás carbônico (CO_2)	0,03%

Os poríferos e os cnidários não têm órgãos especializados para a respiração e realizam, portanto, as trocas gasosas entre as células e o meio por **difusão simples**, processo pelo qual recebem oxigênio e eliminam gás carbônico diretamente para o ambiente na superfície corporal. Platelminhos e nematódeos, mesmo sendo em sua maioria anaeróbios, também realizam suas trocas gasosas por meio da difusão simples. Em animais com maior atividade metabólica ou de maior tamanho, o processo de difusão simples não é capaz de atender à demanda energética por ser um processo muito lento.



Os anelídeos apresentaram as primeiras estruturas respiratórias. Esses animais fazem suas trocas gasosas por meio da **respiração cutânea**, que difere da difusão simples por utilizar o sangue como veículo de transporte para os gases associado aos pigmentos sanguíneos, como a hemoglobina.

No filo dos artrópodes, os insetos têm corpos revestidos por quitina, substância com função impermeabilizante que impede a difusão de gases pela superfície corpórea e, por isso, a respiração é **traqueal**. Assim, a comunicação com o exterior é feita por meio dos espiráculos, tornando a respiração independente do sistema circulatório, uma vez que permite o contato direto do ar atmosférico com as células sem a presença de pigmentos, o que torna esse processo mais eficiente.

Alguns animais que fazem parte desse grupo apresentam adaptações de acordo com o ambiente e a estrutura corporal, como é o caso dos aracnídeos, cujos pulmões foliáceos caracterizam a **respiração filotraqueal**. Já os crustáceos, por serem animais aquáticos, apresentam brânquias, o que caracteriza a **respiração branquial** com transporte de gases no sangue.

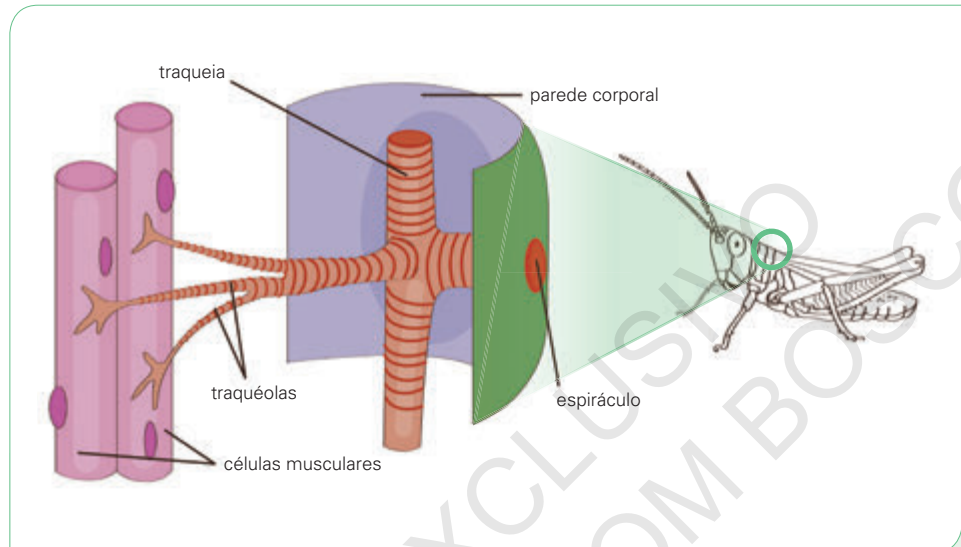


Imagem ilustrativa da respiração traqueal de insetos. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

A maioria dos moluscos realiza **respiração branquial**, com exceção de alguns gastrópodes terrestres (lesmas e caracóis), que, ao se adaptarem ao ambiente terrestre, tiveram a cavidade de seu manto transformada em **saco pulmonar**, tipo primitivo de pulmão. São considerados primitivos porque não contam com mecanismos de renovação do ar interior. Moluscos bivalves, como os mexilhões, têm brânquias revestidas de muco que servem como mecanismo de captura de alimentos, além de realizarem trocas gasosas. Nesses animais desprovidos de pigmentos respiratórios, os gases são dissolvidos no sangue.

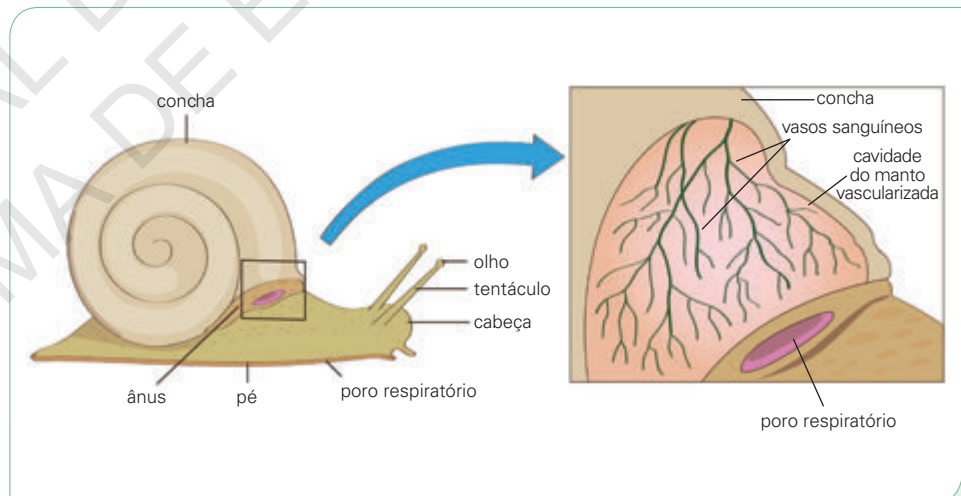


Ilustração da anatomia do saco pulmonar de moluscos. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Os equinodermos respiram por meio de **brânquias dérmicas** ou **pápulas** – pequenas e delicadas projeções para fora do corpo, entre os espinhos. As pápulas são estruturas do sistema hidrovascular, também chamado de ambulacral, formado por conjuntos de canais por onde circula a água com função de trocas gasosas e locomoção; as pápulas também são responsáveis pela excreção.

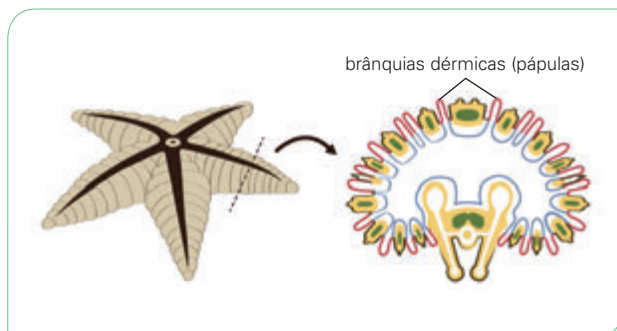


Ilustração esquemática da respiração branquial de equinodermos. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

As brânquias são formadas por uma grande quantidade de filamentos permeáveis aos gases, os filamentos branquiais, que permitem as trocas gasosas em ambientes aquáticos e, em alguns casos, também a respiração aérea, por estarem localizados em cavidades recobertas, que evitam a desidratação. As brânquias estão presentes em animais como poliquetas, tatuzinhos-de-jardim e crustáceos. São recobertas por **opérculos**, nos peixes ósseos, e por **câmaras branquiais**, nos caranguejos.

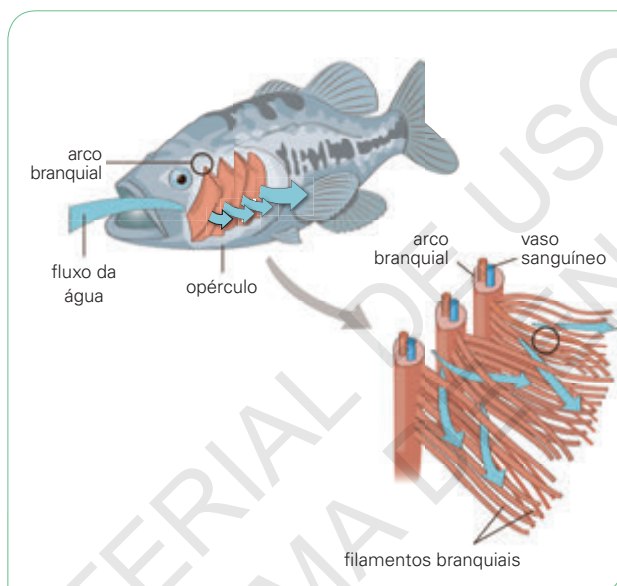
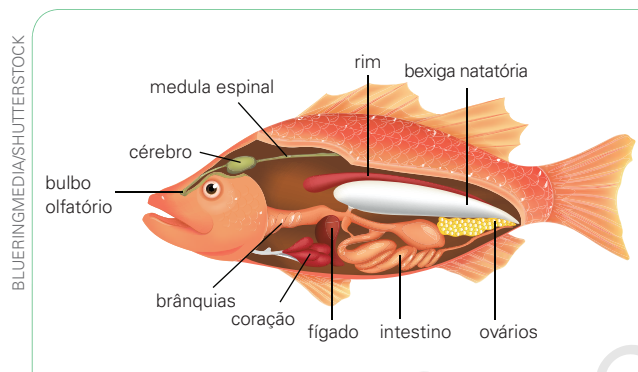


Ilustração esquemática da anatomia das brânquias de peixes. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Nos peixes, a água com oxigênio entra pela boca, passa pelas brânquias e sai pelo opérculo. O sangue e a água fluem em sentidos opostos para permitir melhor oxigenação, o que é chamado de **mecanismo contracorrente**. Fora da água, os peixes morrem asfixiados porque os filamentos branquiais se aglutinam, impossibilitando as trocas gasosas. A maioria dos peixes tem uma estrutura anexa chamada **bexiga natatória**, formada de uma evaginação do trato digestivo, responsável por armazenar gases provenientes do sistema respiratório para promover sua flutuabilidade na coluna de água.



Anatomia do sistema respiratório de peixe ósseo fêmea. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

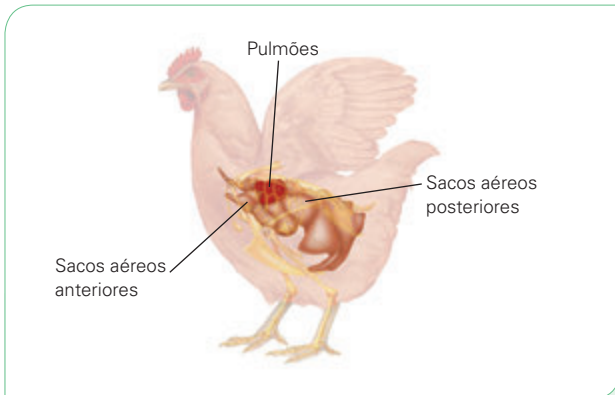
Os **pulmões** são encontrados em anfíbios adultos, répteis, aves e mamíferos. São cavidades internas, para as quais o O_2 é lançado. Nos vertebrados pulmonados existe um tubo condutor de ar, a **traqueia**, dotado de um mecanismo valvular, a **glote**. A presença de **narinhas** possibilita que os animais respirem com a boca fechada. Os anfíbios adultos têm pulmões simples, com pequena superfície interna, que emergem diretamente da faringe. Nesses animais, as trocas gasosas também ocorrem intensamente através da pele, que é delgada e bastante vascularizada – **respiração cutânea**. A participação relativa da respiração pulmonar e da respiração cutânea na oxigenação do sangue dos anfíbios depende de fatores ambientais e aumenta com a elevação da temperatura e da umidade relativa do ar.



Axolotes (*Ambystoma mexicanum*) são anfíbios endêmicos do México que apresentam três pares de brânquias externas, o que aumenta sua área de trocas gasosas.

Os répteis dependem exclusivamente da **respiração pulmonar**, com exceção dos quelônios (tartarugas, cágados e jabutis), cuja cloaca é ricamente vascularizada e contribui para o processo de trocas gasosas. Os pulmões deles são internamente segmentados e maiores que os pulmões lisos dos anfíbios. As aves apresentam pulmões desprovidos de alvéolos e formados por milhões de **parabronquíolos** – túbulos pelos quais o ar circula e onde são realizadas as trocas gasosas. Em mamíferos, a área de troca gasosa é ampliada pela presença de milhões de **alvéolos pulmonares**, localizados nos sacos aéreos anteriores e posteriores.

Evolutivamente, desde a bexiga natatória dos peixes até o pulmão alveolado dos mamíferos, houve expansões de superfície dessas estruturas e aumento na eficiência das trocas gasosas. Os pulmões dos vertebrados podem encher e esvaziar, renovando o ar interior, por isso são chamados de **pulmões de ventilação**. Esse processo elimina o ar saturado de CO_2 e obtém o ar rico em O_2 , que os torna mais eficazes que os pulmões de difusão dos gastrópodes terrestres.



Estruturas do sistema respiratório da galinha. Em vermelho, os pulmões associados aos sacos aéreos. Além de reduzir sensivelmente o peso da ave, os sacos aéreos asseguram a ingestão de oxigênio necessária para o voo. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

BSIP SA / ALAMY STOCK PHOTO

Sistema respiratório humano

No sistema respiratório humano, o ar segue o trajeto pelos seguintes órgãos: entra pelo nariz, atinge a cavidade nasal, passa pela laringe, faringe, traqueia, brônquios, bronquíolos e chega aos alvéolos pulmonares, onde ocorrem, de fato, as trocas gasosas.

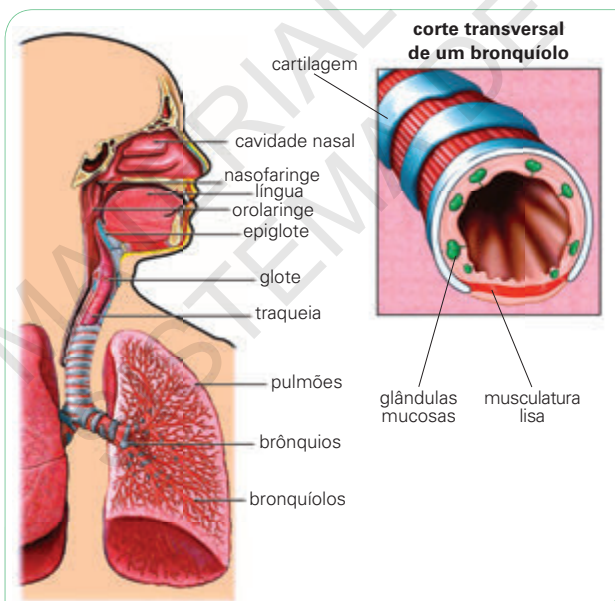


Ilustração dos componentes do sistema respiratório humano com destaque para as estruturas internas dos bronquíolos. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

NUCLEUS MEDICAL MEDIA INC / ALAMY STOCK PHOTO

Na **cavidade nasal** estão presentes terminações nervosas especializadas na captação de odores, além de pelos, cílios e muco, que umedecem, aquecem e filtram o ar. Os microrganismos presentes no ar são parcialmente barrados por muco e pelos nasais. Da cavidade nasal, o ar vai para a **faringe**, estrutura comum ao tubo digestório, passa para a **laringe**, onde estão presentes a **epiglote** (lâmina que fecha a ligação da laringe com a **glote** durante a deglutição de alimentos) e as **pregas vocais** (chamadas de cordas vocais na terminologia antiga), estruturas responsáveis pela produção de voz. A fala depende da passagem do ar pela laringe. A entrada de ar faz vibrar as pregas vocais, produzindo o som.

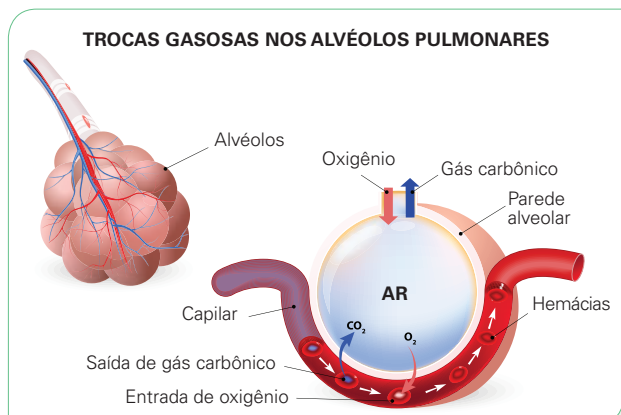
Depois de passar pela laringe, o ar se direciona para a traqueia, um tubo que termina em bifurcações chamadas de **brônquios**. Essas estruturas são protegidas por anéis cartilagosos que impedem seu colapso na entrada do ar. Os brônquios, por sua vez, ramificam-se no interior dos pulmões em **bronquíolos**, formando a chamada **árvore respiratória** ou **bronquial**.

Os **pulmões** são os maiores órgãos do sistema respiratório, ocupando praticamente toda a cavidade torácica. São revestidos pela **pleura**, uma membrana dupla. Nas extremidades dos bronquíolos estão mais de 350 milhões de **alvéolos pulmonares**, formados por camadas finas de células envoltas por capilares, nos quais ocorre a oxigenação sanguínea.

HEMATOSE

Nos humanos, assim como nos demais vertebrados, os sistemas respiratório e circulatório atuam em conjunto. O sistema respiratório é responsável pelas trocas gasosas e pela oxigenação do sangue, enquanto o sistema circulatório é responsável pelo transporte desses gases pela corrente sanguínea.

O processo de oxigenação do sangue nos órgãos respiratórios é denominado **hematose**. Nos animais pulmonados, esse processo ocorre nos alvéolos pulmonares, onde o sangue rico em gás carbônico é oxigenado. O sangue oxigenado é direcionado ao coração para que seja enviado ao resto do corpo. Os órgãos, por sua vez, encaminham ao coração sangue rico em gás carbônico, que será mandado aos pulmões para sua oxigenação.



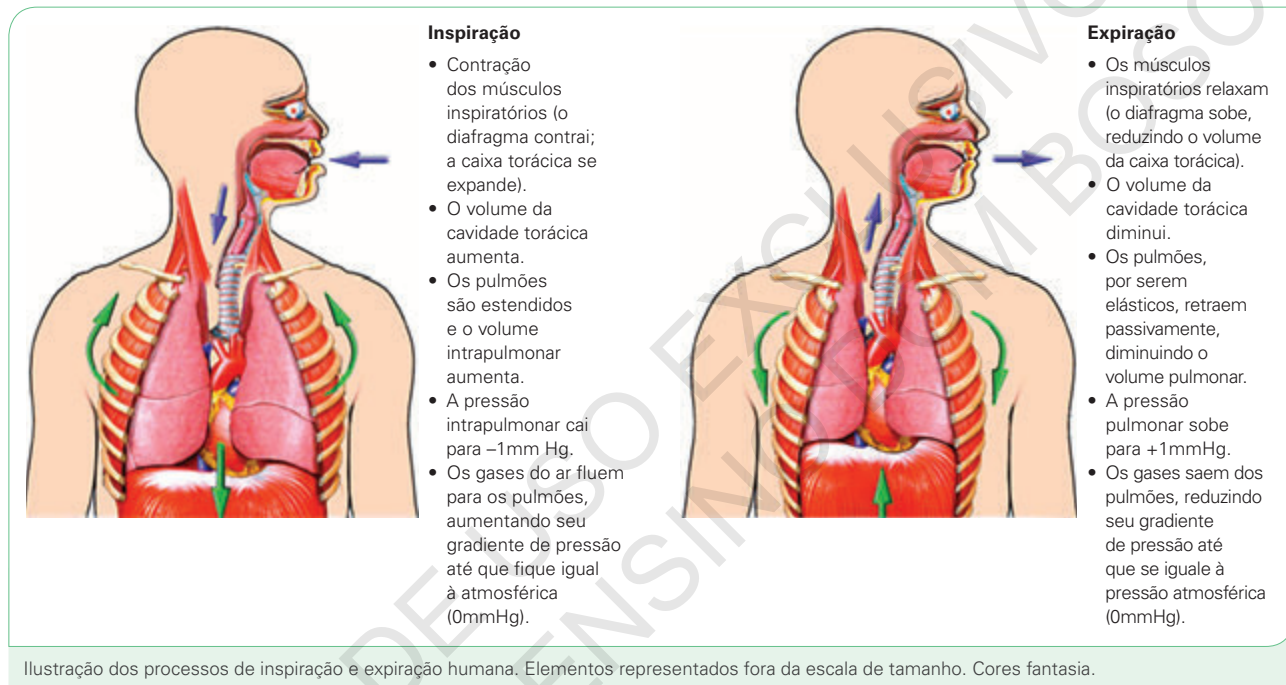
Na ilustração, notam-se as trocas gasosas nos alvéolos pulmonares. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

TTSZ/STOCKPHOTO.COM

VENTILAÇÃO PULMONAR

A renovação do conteúdo aéreo dos pulmões é chamada de **ventilação pulmonar** e se faz de diferentes maneiras. Nos anfíbios, o ar é insuflado para dentro dos pulmões pela contração dos músculos da boca e da faringe, estando as narinas fechadas e a glote aberta. Nos demais vertebrados pulmonados, a **inspiração** (fase de enchimento dos pulmões) e a **expiração** (fase de esvaziamento) resultam da modificação do volume da cavidade torácica, produzida pela contração dos músculos intercostais. Além disso, os mamíferos dispõem do diafragma – músculo que separa a cavidade torácica da abdominal.

A inspiração e a expiração movimentam músculos próximos aos pulmões e ao diafragma, tornando possível a entrada e a saída do ar no sistema respiratório.

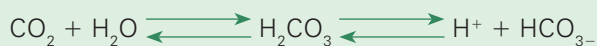


Controle da respiração

Ao contrário dos batimentos cardíacos, a respiração pode estar parcialmente sob controle voluntário. Somos capazes de prender a respiração para fazer um mergulho curto em apneia, por exemplo. Entretanto, a frequência e a amplitude da respiração são controladas por um grupo de neurônios localizados no bulbo raquidiano (constituente do centro respiratório), de onde são transmitidos sinais para nervos de origem na medula espinal que controlam o diafragma e os músculos intercostais.

Três parâmetros permanentemente monitorados pelo centro respiratório podem interferir na atividade respiratória: pH do plasma sanguíneo, concentração de gás carbônico no sangue (também chamada de pressão parcial de CO_2) e concentração de oxigênio no sangue (pressão parcial de O_2). Em indivíduos normais, o pH do plasma sanguíneo oscila em torno de 7,4, levemente alcalino. A queda para níveis inferiores a 7,36 chama-se **acidose**; a elevação acima de 7,44, **alcalose**.

Uma das mais importantes causas de acidose é o aumento da concentração de gás carbônico no sangue, que se associa à água e produz ácido carbônico (H_2CO_3), que, ao se dissociar, forma H^+ , principal fator de alteração do pH sanguíneo.



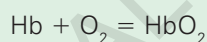
Impacto do pH sanguíneo e da concentração de gases na respiração

Parâmetro		Ação sobre o centro respiratório	Ação sobre a frequência e a amplitude respiratória
Concentração de CO ₂	Alta	Excita	Aumenta
	Baixa	Deprime	Diminui
Concentração de O ₂	Alta	Deprime	Diminui
	Baixa	Excita	Aumenta
pH do plasma	Acidose (pH < 7,36)	Excita	Aumenta
	Alcalose (pH > 7,44)	Deprime	Diminui

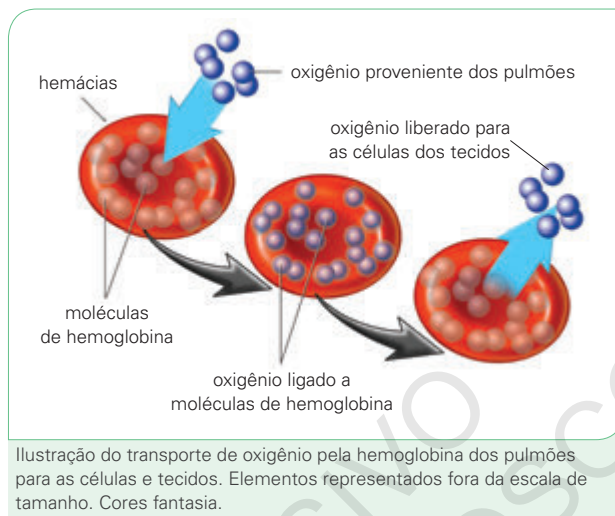
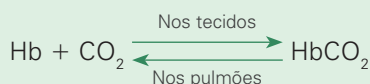
Transporte de gases

Com a melhor adaptação do sistema respiratório dos animais ao longo da evolução, surgiram os **pigmentos respiratórios**, como a **hemoglobina (Hb)**, presente no interior das hemácias do sangue dos vertebrados, e a **hemocianina**, dissolvida na hemolinfa dos artrópodes. Essas substâncias são capazes de se ligar aos gases envolvidos na respiração e transportá-los pelo corpo.

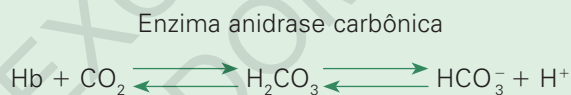
A hemoglobina é uma proteína cuja estrutura contém o grupo heme, que acomoda ferro. Quando as hemácias alcançam os pulmões, o oxigênio do ar alveolar se difunde para o interior dos capilares. Cada molécula de hemoglobina se liga com quatro moléculas de oxigênio, formando a oxiemoglobina (HbO₂), que segue pela corrente sanguínea e oxigena os tecidos.



Nos mamíferos placentários (girafa, golfinhos, humanos etc.), o feto tem hemoglobina F, que apresenta mais afinidade com o oxigênio que a hemoglobina A, presente no adulto. Por isso, o sangue fetal consegue retirar o oxigênio do sangue materno que chega à placenta. Após o nascimento, a hemoglobina A substitui gradualmente a F. Nos seres humanos, o CO₂ pode estar sob três formas: 7% dissolvidos no plasma, 23% ligados à hemoglobina (HbCO₂) e a maior parte, cerca de 70%, na forma de íons bicarbonato (HCO₃⁻), estes últimos produzidos em duas etapas. Primeiro, o gás carbônico se combina à água e forma o ácido carbônico por reação catalisada pela enzima anidrase carbônica – ácido fraco que dissocia e produz íons bicarbonato e H⁺.



Os compostos oxiemoglobina e carboxiemoglobina são pouco estáveis, propriedade que lhes possibilita ligar e desligar o pigmento respiratório onde o pH for favorável.



O processo de formação de íons bicarbonato com CO₂ e H₂O funciona como um sistema tampão, evitando variações bruscas do pH sanguíneo, cujo valor deve se manter em torno de 7,4.

Intoxicação por monóxido de carbono

O monóxido de carbono (CO) é um gás inodoro, sem gosto e não irritativo proveniente da queima de combustíveis, como o óleo diesel, a gasolina e o carvão. Esse composto apresenta afinidade 210 vezes maior com a hemoglobina que o gás oxigênio (O₂) e, portanto, liga-se intensamente a ela para formar o composto estável carboxiemoglobina (HbCO).

Caso o ar inspirado contenha grande quantidade de monóxido de carbono, este compete com o oxigênio pelos sítios de ligação na hemoglobina, dificultando o transporte de oxigênio dos pulmões para os tecidos, causando tontura, desmaio, asfixia e até morte.

Curva de dissociação do oxigênio da hemoglobina

A afinidade da hemoglobina com o oxigênio pode variar conforme a concentração desse gás. Assim, quando a concentração de O₂ é alta, a hemoglobina une-se mais fortemente a ele. Quando a concentração de O₂ diminui, a afinidade da hemoglobina com o oxigênio diminui e esse gás é liberado (dissociado). Quando o sangue passa pelos capilares pulmonares, o gradiente alvéolo-capilar gera fluxo, aumentando a pressão parcial de oxigênio (PO₂) no plasma, o que causa aumento na afinidade da hemoglobina com o O₂.

Essa é a relação entre a pressão parcial de oxigênio e o grau de saturação da hemoglobina.

Essa relação entre a afinidade da hemoglobina e a concentração de oxigênio é mostrada em uma **curva de dissociação do oxigênio da hemoglobina**, conforme o gráfico ao lado.

Nos pulmões, a hemoglobina fica 98% saturada com a molécula de oxigênio. Ao atingir os tecidos, libera cerca de 28% do oxigênio ligado a ela. Quando o tecido está metabolicamente ativo, como músculos durante exercícios, a hemoglobina pode liberar maior quantidade de O_2 . Consequentemente, a taxa respiratória aumenta junto com a liberação de gás carbônico. Isto reduz o pH do meio, induzindo a hemoglobina do sangue a liberar mais oxigênio. Assim, a redução do pH aciona a diminuição da afinidade da hemoglobina pelo oxigênio.

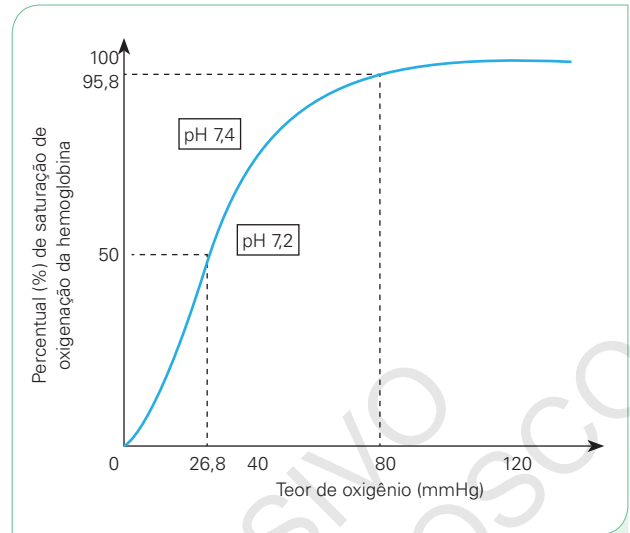


Gráfico que representa a concentração de oxigênio em relação à hemoglobina.

LEITURA COMPLEMENTAR

Em locais de elevada altitude, o ar é mais rarefeito, ou seja, tem menor concentração de O_2 em decorrência da menor pressão atmosférica. Ao viajar para esses locais, é normal uma pessoa sentir alguns sintomas incômodos, como mal-estar, dor de cabeça, náuseas, tonturas, entre outros. Esses sintomas são provocados pela redução da capacidade de produção de ATP pelo processo de respiração celular.

Nosso organismo é capaz de se adaptar em alguns dias a essa nova situação atmosférica. Os principais mecanismos adaptativos são o aumento da frequência respiratória e o aumento na produção de hemácias, a fim de otimizar a capacidade do transporte de oxigênio, possibilitando, assim, a produção de ATP adequada para as atividades celulares em elevadas altitudes.



TARAS KUSHNIR/SHUTTERSTOCK

MATERIAIS DE ESTUDO
SISTEMA DE

ROTEIRO DE AULA

RESPIRAÇÃO

TIPOS DE RESPIRAÇÃO

Poríferos, cnidários, platelmintos e nematelmintos

Difusão

Anelídeos

Cutânea

Artrópodes

Insetos

Traqueal

Crustáceos

Branquial

Aracnídeos

Filotraqueal

Moluscos

Maioria

Branquial

Gastrópodes terrestres

Pulmonar

Equinodermos

Pápulas

Branquial

Peixes

Branquial

Anfíbios

Fase larval: brânquias

Branquial

Fase adulta: pele e pulmão

Pulmonar

Répteis

Pulmão

Pulmonar

Aves

Alvéolos

pulmonares

Oxigenação do sangue

Mamíferos

Sistema Respiratório Humano

Hematose

Transporte

Controle

Mecânica

Hemoglobina

Bulbo

Inspiração

Expiração

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. IFPE-PE – O ronco é um ruído provocado pelo estreitamento ou obstrução nas vias respiratórias superiores durante o sono. Esse estreitamento dificulta a passagem do ar e provoca a vibração dessas estruturas. A sequência correta da passagem do ar pelo sistema respiratório a partir das cavidades nasais é

- laringe, faringe, traqueia, brônquios, bronquíolos, alvéolos.
- faringe, laringe, traqueia, brônquios, bronquíolos, alvéolos.**
- laringe, faringe, bronquíolos, brônquios, traqueia, alvéolos.
- alvéolos, faringe, laringe, traqueia, bronquíolos, brônquios.
- faringe, laringe, bronquíolos, brônquios, alvéolos, traqueia.

O ar inspirado passa sucessivamente das cavidades nasais para as seguintes estruturas do aparelho respiratório: faringe, laringe, traqueia, brônquios, bronquíolos e alvéolos pulmonares.

2. FGV – A tabela mostra a composição gasosa no ar inspirado e no ar expirado por uma pessoa.

Gases	% no ar inspirado	% no ar expirado
Nitrogênio (N ₂)	79,0	79,0
Oxigênio (O ₂)	20,9	14,0
Dióxido de carbono (CO ₂)	0,03	5,6

Fonte: José Mariano Amabis e Gilberto Rodrigues Martho. *Biologia*. Editora Moderna, 2009.

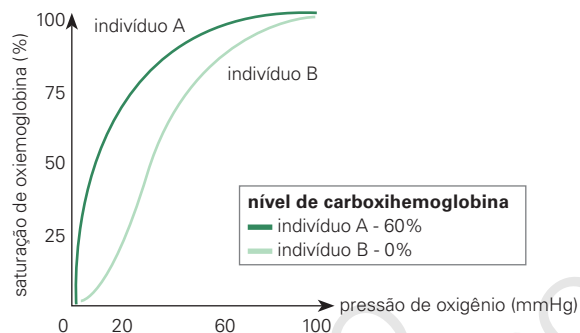
Com base na fisiologia humana, é correto afirmar que

- as porcentagens de gás nitrogênio inspirado e expirado são iguais, pois o consumo e a produção desse gás são equivalentes no metabolismo celular.
- a maior porção do gás oxigênio inspirado é utilizada como fonte de energia no metabolismo respiratório mitocondrial.
- o aumento da porcentagem de dióxido de carbono no ar expirado decorre do metabolismo celular para produção de energia.**
- as diferenças das porcentagens no ar inspirado e no ar expirado são justificadas devido à conversão de gás oxigênio em gás carbônico na respiração celular.
- a diminuição da porcentagem de gás oxigênio no ar expirado se relaciona com a utilização dos átomos de oxigênio para a síntese de biomoléculas.

O aumento da taxa de dióxido de carbono no ar expirado decorre da produção desse gás durante o processo de produção de energia pela respiração celular.

3. Uerj-RJ (adaptada) – Em todo o mundo, o tabagismo é considerado a principal causa de morte evitável. Além dos prejuízos causados pela nicotina e outros componentes, os fumantes apresentam um acúmulo de monóxido de carbono (CO) no sangue, que pode levar à hipóxia, ou seja, menor oxigenação dos tecidos.

Considere, no gráfico a seguir, as curvas de saturação da oxiemoglobina de dois indivíduos, A e B, de mesmo sexo, idade, peso e altura. Um desses indivíduos não fuma e o outro é fumante crônico.



Com base na análise das curvas, identifique o indivíduo fumante. Explique, ainda, por que o acúmulo de CO pode levar à hipóxia nos tecidos.

O indivíduo A é fumante. A formação da carboxihemoglobina aumenta

a afinidade da hemoglobina pelo oxigênio e diminui sua liberação para

os tecidos.

4. Unesp – Uma professora explica a seus alunos que a transpiração contribui para o controle da temperatura corporal e que os desodorantes antitranspirantes apresentam em sua composição sal de alumínio, o qual obstrui os ductos sudoríparos, impedindo a saída do suor. Um dos alunos perguntou à professora o que aconteceria se uma generosa dose de desodorante antitranspirante fosse borrifada no corpo de uma barata e de uma lagartixa.

A professora desaconselhou o experimento em razão dos maus-tratos aos animais e explicou que, caso fosse realizado, considerando os sistemas respiratórios desses animais, provavelmente

- a lagartixa e a barata morreriam por aumento da temperatura corporal.
- a lagartixa e a barata morreriam por falta de oxigênio em suas células.
- a barata sobreviveria e a lagartixa morreria por aumento da temperatura corporal.
- a lagartixa sobreviveria e a barata morreria por falta de oxigênio em suas células.**
- a barata e a lagartixa sobreviveriam.

A lagartixa sobreviveria porque não possui glândulas sudoríparas. A barata morreria por falta de oxigênio em suas células, uma vez que o sistema respiratório dos insetos é traqueal, isto é, isso levaria à obstrução dos espiráculos de suas traqueias.

5. Uerj-RJ (adaptada)

C4-H16

Os primeiros artrópodes eram animais marinhos. Ao longo do processo evolutivo, alguns membros desse grupo sofreram transformações que possibilitaram a eles a conquista do meio terrestre.

A transformação que contribuiu para a permanência desses artrópodes nesse ambiente seco foi

- a) respiração por difusão. c) respiração pulmonar.
b) respiração traqueal. d) respiração branquial.

A respiração traqueal permite a captação direta do oxigênio presente no ar atmosférico, facilitando a adaptação dos artrópodes ao meio terrestre.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Compreender o papel da evolução na produção de padrões, processos biológicos ou na organização taxonômica dos seres vivos.

6. Fuvest-SP (adaptada) – Uma pessoa que vive numa cidade ao nível do mar pode ter dificuldade para respirar ao viajar para La Paz, na Bolívia (cerca de 3.600 m de altitude). Ao nível do mar, a pressão barométrica é de 760 mmHg e a de La Paz, 490 mmHg. Qual é o efeito da pressão parcial de oxigênio, em La Paz, sobre a difusão do oxigênio do pulmão para o sangue em comparação com o que ocorre ao nível do mar? Como o sistema de transporte de oxigênio para os tecidos responde a esse efeito após uma semana de aclimação do viajante?

Em La Paz, a pressão parcial do oxigênio é menor do que ao nível do mar,

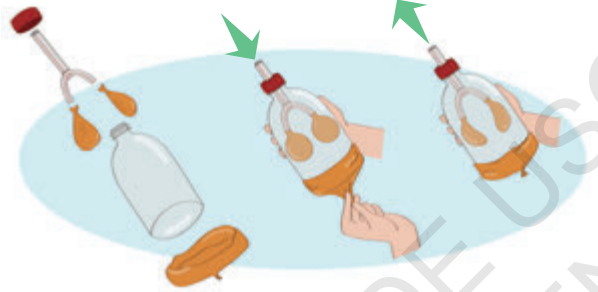
dificultando a difusão de O₂ para o sangue. Como mecanismo compen-

satório, em grandes altitudes, há um aumento do número de hemácias

pelo tecido hematopoiético mieloide da medula óssea vermelha.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. Unesp – Na figura, uma demonstração feita com garrafa PET, tubos e balões de borracha simula o funcionamento do sistema respiratório humano.



Sobre o sistema respiratório humano e as estruturas que o representam na demonstração, é correto afirmar que

- a) o movimento da mão esticando a borracha corresponde ao relaxamento do diafragma, em resposta a estímulos de quimiorreceptores localizados no bulbo, que detectam a baixa concentração de O₂ no sangue e promovem a inspiração.
b) o movimento da mão esticando a borracha corresponde à contração do diafragma por ação do bulbo quando o pH do sangue circulante diminui em razão da formação de ácido carbônico no plasma.
c) a garrafa PET corresponde à pleura, membrana dupla que envolve os pulmões e que apresenta quimiorreceptores sensíveis a variações de O₂ e CO₂ nos capilares alveolares, desencadeando os movimentos de inspiração e expiração.
d) a garrafa PET corresponde à parede da caixa torácica, que, ao manter o volume torácico constante, permite que os pulmões, representados pelos balões, se inflam na inspiração e se esvaziam na expiração, expulsando o ar rico em CO₂.
e) os tubos que penetram na garrafa correspondem à traqueia e aos brônquios, que, embora não apresentem movimentos de contração e relaxamento, favorecendo a movimentação do ar nas vias respiratórias, possuem válvulas que impedem a mistura do ar rico em O₂ com o ar rico em CO₂.

8. Uece – O aparecimento do oxigênio na atmosfera da Terra provocou diversas alterações na vida terrestre, uma vez que diversos seres vivos não adaptados a esse novo ambiente morreram, enquanto outros desenvolveram estratégias para utilizar esse gás de maneira eficiente. Com relação à respiração aeróbica, assinale a afirmação correta.

- a) Em certos animais, a superfície do corpo pode funcionar como órgão de trocas gasosas, com difusão direta dos gases, sem necessidade de um sistema respiratório diferenciado, como é o caso dos moluscos.
b) Os insetos apresentam um sistema respiratório baseado em uma rede externa de canais (traqueias) que se comunicam diretamente com as células por meio de fluido circulante.
c) Nos peixes, as brânquias se encontram protegidas por estruturas denominadas opérculos, formadas por uma grande quantidade de lamelas pouco vascularizadas, mas que, no seu conjunto, representam uma extensa área de contato com a água.
d) Os pulmões são as estruturas respiratórias presentes em anfíbios, répteis, aves e mamíferos, que, independentemente de sua morfologia, proporcionam aumento da área superficial relacionada às trocas gasosas.

9. Fuvest-SP – Analise as três afirmações sobre o controle da respiração em humanos.

- I. Impulsos nervosos estimulam a contração do diafragma e dos músculos intercostais, provocando a inspiração.
II. A concentração de dióxido de carbono no sangue influencia o ritmo respiratório.
III. O ritmo respiratório pode ser controlado voluntariamente, mas na maior parte do tempo tem controle involuntário.

Está correto o que se afirma em

- a) I, apenas. d) II e III, apenas.
b) I e III, apenas. e) I, II e III.
c) III, apenas.

ESTUDO PARA O ENEM

18. Enem

C4-H14

Hipóxia ou mal das alturas consiste na diminuição de oxigênio (O_2) no sangue arterial do organismo. Por essa razão, muitos atletas apresentam mal-estar (dores de cabeça, tontura, falta de ar etc.) ao praticar atividade física em altitudes elevadas. Nessas condições, ocorrerá uma diminuição na concentração de hemoglobina oxigenada (HbO_2) em equilíbrio no sangue, conforme a relação:



Mal da montanha. Disponível em: www.feng.pucrs.br. Acesso em: 11. fev. 2015 (adaptado).

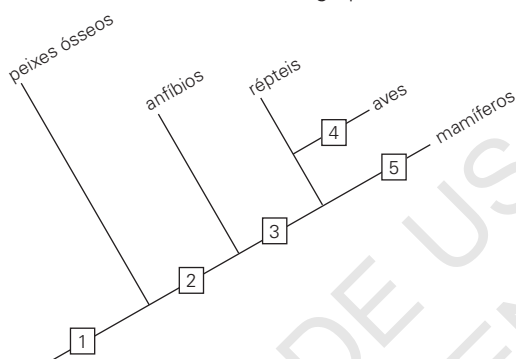
A alta concentração de hemoglobina oxigenada no sangue ocorre por causa do(a)

- elevação da pressão arterial.
- aumento da temperatura corporal.
- redução da temperatura do ambiente.
- queda da pressão parcial de oxigênio.
- diminuição da quantidade de hemácias.

19. Enem PPL (adaptada)

C5-H17

O cladograma representa, de forma simplificada, o processo evolutivo de diferentes grupos de vertebrados.



O surgimento da característica da respiração pulmonar em todas as fases do desenvolvimento está representado, no cladograma, pelo número

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

20. Sistema Dom Bosco

C4-H13

Um atleta morador da cidade de Santos, cidade litorânea de São Paulo ao nível do mar, irá participar de um campeonato de triatlo em La Paz, Bolívia, cidade a 3.600 metros de altitude, com 33% de oxigênio a menos que ao nível do mar. O atleta foi orientado pelo técnico a viajar para a Bolívia com uma semana de antecedência para a competição, para se acostumar com a elevada altitude.

A recomendação do técnico é sensata, pois

- o ar rarefeito da Bolívia aumenta a frequência respiratória e a produção de hemácias para facilitar o transporte de oxigênio.
- o ar rarefeito de Santos aumenta a frequência respiratória e reduz a produção de hemácias para facilitar o transporte de oxigênio.
- o ar rarefeito da Bolívia diminui a frequência respiratória e a produção de glóbulos brancos para facilitar o transporte de oxigênio.
- o ar rarefeito de Santos diminui a frequência respiratória e aumenta produção de glóbulos brancos para facilitar o transporte de oxigênio.
- o ar rarefeito da Bolívia diminui a frequência respiratória e a produção de plasma para facilitar o transporte de oxigênio.

18

SISTEMA CIRCULATÓRIO COMPARADO

- Sistema circulatório: características gerais
- Sistema circulatório comparado
- Classificação do sistema circulatório
- Circulação nos invertebrados
- Circulação nos vertebrados

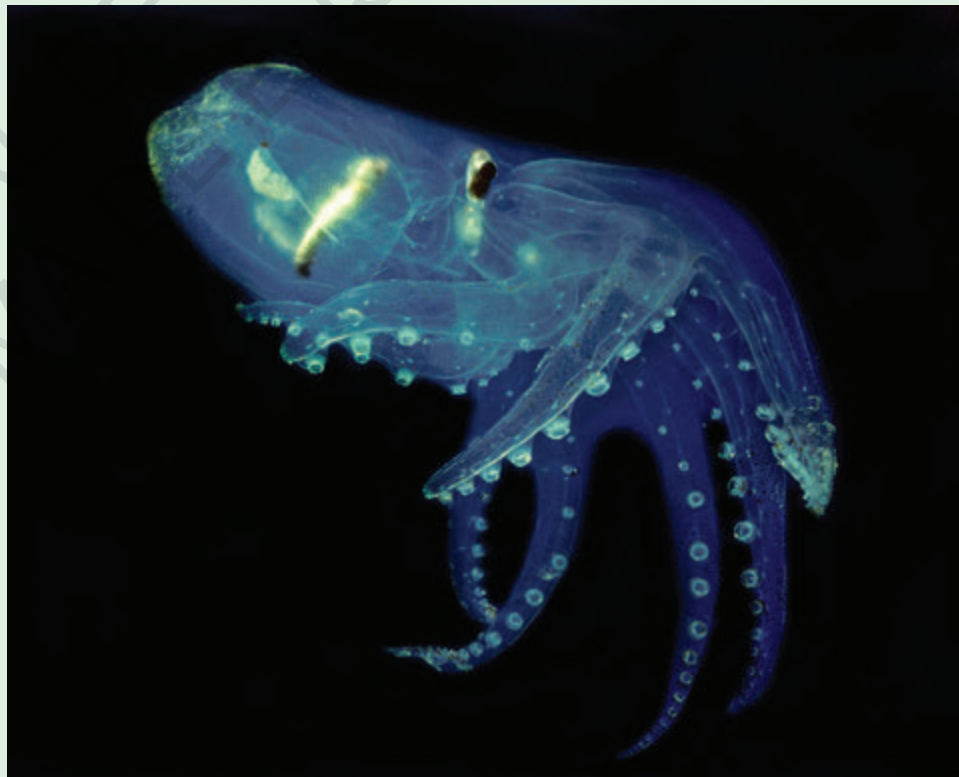
HABILIDADES

- Reconhecer as características e as funções do sistema circulatório.
- Observar os diversos padrões de circulação que ocorrem nos animais, comparando-os com o dos seres humanos.
- Reconhecer as diferenças morfológicas entre artérias, veias e capilares.
- Identificar padrões em fenômenos e processos vitais dos organismos, como manutenção do equilíbrio interno, defesa, relações com o ambiente, entre outros.
- Compreender a estrutura do sistema linfático e sua função.

O metabolismo celular consome oxigênio e nutrientes, e produz gás carbônico e outros resíduos. Em animais pequenos, as necessidades celulares são atendidas pelo processo de difusão. O surgimento de um sistema de transporte eficiente foi um dos fatores evolutivos que possibilitaram que muitos vertebrados atingissem grande porte. Na ausência de um sistema eficiente de transporte, o mecanismo de difusão é lento e eficaz apenas em distâncias muito pequenas. Em animais maiores, as necessidades são supridas por um sistema circulatório, também chamado de sistema cardiovascular. Esse sistema é formado pelo coração e pelos vasos sanguíneos, por meio dos quais o sangue flui e ocorre o transporte de substâncias, hormônios, anticorpos, fatores de coagulação, entre outros.

Apesar de o coração ter a função fisiológica de bombear o sangue para os tecidos, seu tamanho, capacidade de contração e número de cavidades variam entre os grupos animais. O coração pode ser único e chegar a 180 kg, como o das baleias-azuis, ou múltiplos, como o das minhocas, seres que apresentam de 2 a 15 pares de corações ao longo do seu corpo segmentado.

Normalmente, a visualização do sistema circulatório de um animal depende de exames, como tomografias computadorizadas e angiotomografias. No caso de alguns animais transparentes, como o polvo-de-vidro (*Vitreledonella richardi*), que vive nas profundezas do Oceano Pacífico, e o camarão-fantasma (*Palaemonetes sp.*), é possível observar seu sistema circulatório e seu coração a olho nu.



Polvo-de-vidro (*Vitreledonella richardi*) é um animal que, por ser transparente, possibilita a observação de seu sistema circulatório a olho nu.

Sistema circulatório: características gerais

O sistema circulatório é responsável pela manutenção da estabilidade celular. A constante circulação de líquido pelo corpo por meio da corrente sanguínea torna presentes os líquidos intersticiais (líquidos entre as células corpóreas) em todas as regiões e auxilia na manutenção de temperatura relativamente uniforme.

Os animais têm dois tipos de circulação: aberta e fechada. Na **circulação aberta**, o líquido circulatório é denominado **hemolinfa** e é bombeado pelo coração. Periodicamente, abandona os vasos e cai em lacunas corporais, onde as trocas ocorrem por difusão de substâncias entre ele e as células. Vagarosamente, o líquido retorna para o coração, que novamente o bombeia para os tecidos. Na **circulação fechada**, o sangue nunca sai dos vasos nem tem contato com as células do corpo, que se situam no **líquido intersticial**. No lugar das lacunas corporais, esses animais apresentam uma rede de **capilares**, vasos de paredes finas por onde ocorrem, de fato, as trocas de substâncias entre o sangue e os tecidos.

A circulação também pode ser classificada de acordo com a quantidade de vezes que o sangue passa pelo coração. Na **circulação simples**, presente nos animais que realizam respiração branquial, o sangue passa uma única vez, e na **circulação dupla**, presente em animais pulmonados, passa duas vezes em uma volta completa. Por fim, a circulação pode ser **incompleta** quando ocorre a mistura de sangue arterial e venoso e **completa** quando o sangue arterial, rico em O_2 , não sofre mistura com o sangue ainda não oxigenado.

Sistema circulatório comparado

CIRCULAÇÃO DOS INVERTEBRADOS

Poríferos (esponjas), cnidários (água-viva), platelmintos (planária) e nematódeos (lombrigas) não possuem sistema circulatório. As trocas de gases, de nutrientes e de excretas, nesses animais, são realizadas pelo processo de difusão. Os cnidários apresentam uma **cavidade gastrovascular** central que atua na digestão e na distribuição de substâncias para todo o corpo do animal.



A planária é um platelminto que realiza as trocas gasosas por difusão, uma vez que não há sistema circulatório.

Artrópodes (insetos, crustáceos, aracnídeos etc.) e a maioria dos moluscos (mariscos, caracóis), com exceção dos cefalópodes, apresentam **sistema circulatório aberto**, também chamado de **lacunar**. Nesse tipo de circulação, os vasos são abertos nas extremidades, permitindo que o coração atue como uma bomba e force a hemolinfa a circular na **hemocele**, cavidade corpórea onde ocorrem as trocas entre o sangue e as células. O relaxamento do coração faz com que a hemolinfa retorne. Os movimentos corpóreos desses animais pressionam periodicamente as cavidades, auxiliando a circulação da hemolinfa.



Os miriápodes, conhecidos popularmente como piolho-de-cobra, são artrópodes com sistema circulatório aberto.

A **circulação aberta** é eficiente apenas em animais de pequeno porte. O processo de difusão é lento e a falta de estruturas anatômicas de distribuição resulta em baixa pressão, suficiente apenas para alcançar pequenas distâncias. Nos insetos, o sistema circulatório é um **tubo dorsal com múltiplas câmaras**, localizado em posição posterior, e a aorta, vaso de calibre largo, encontra-se em posição anterior. Bombeada pelo coração, a hemolinfa flui pela aorta, ao fim da qual cai na hemocele, entrando em contato com os tecidos do corpo. Retorna ao coração por meio de pequenas aberturas, os **ostíolos**, para ser novamente bombeada. Nesses animais, o sistema circulatório é responsável por mediar as diversas trocas químicas entre os órgãos do corpo, transportando nutrientes, hormônios e metabólitos (excretas).

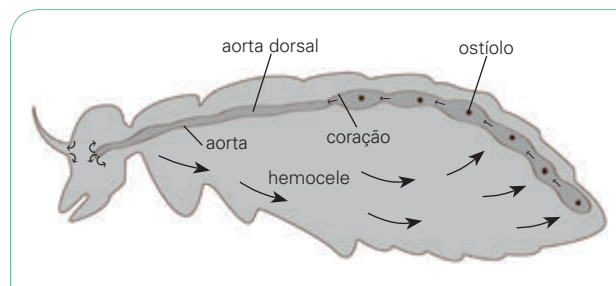


Ilustração da anatomia circulatória de um inseto (artrópode). As setas representam o fluxo de distribuição da hemolinfa. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

No **sistema circulatório fechado**, presente em todos os anelídeos, moluscos cefalópodes e vertebrados, o líquido circulatório é denominado **sangue** e circula exclusivamente em vasos, promovendo maior pressão e rapidez para o fluxo, atingindo grandes distâncias e tornando-o muito mais eficiente no transporte de substâncias. Esses

animais possuem um ou mais corações que bombeiam o sangue para dentro de vasos grandes, os quais são ramificados em vasos menores até se infiltrarem nos órgãos.

Os anelídeos possuem hemoglobina, porém não têm hemácias. Cada minhoca tem entre dois e 15 pares de corações para permitir a distribuição do sangue por todo seu corpo. Apresentam grande vaso dorsal, que conduz o sangue para sua parte anterior, e dois vasos ventrais, que conduzem o sangue no sentido oposto. Conectando os vasos dorsal e ventral, algumas espécies têm vasos sanguíneos laterais, conhecidos como corações laterais pela propriedade de contração rítmica. O vaso dorsal e os ventrais também se ramificam em rede de capilares que irrigam e nutrem as diversas regiões do corpo do animal. O sangue que circula nos capilares próximos ao tegumento é capaz de absorver oxigênio e liberar gás carbônico. O sangue também recolhe os metabólitos e as excretas produzidos pelos tecidos internos.

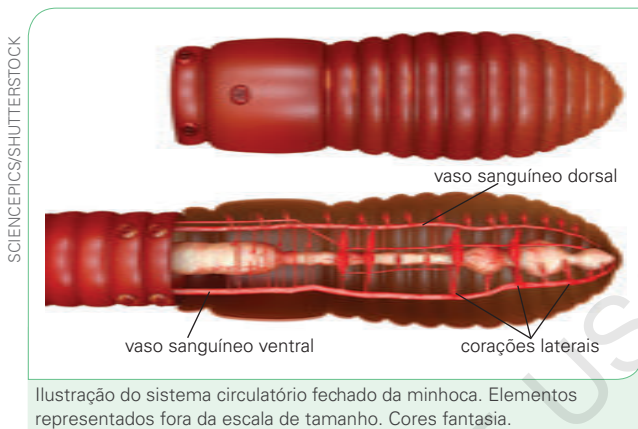


Ilustração do sistema circulatório fechado da minhoca. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Os equinodermos não apresentam sistema circulatório. A distribuição de substâncias se faz por meio do **líquido celomático**, líquido incolor que circula pelos canais localizados ao longo do corpo, e também pelo **sistema ambulacral**.



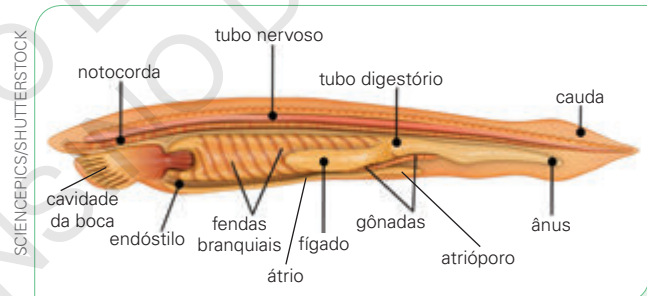
Imagem dos canais corpóreos de uma estrela-do-mar (equinodermo) por onde circula o líquido celomático.

Sistema circulatório dos invertebrados

Filo	Sistema circulatório
Poríferos Cnidários Platelmintos Nematelmintos	Ausente
Artrópodes Moluscos (exceto cefalópodes)	Aberto (lacunar)
Anelídeos Moluscos cefalópodes	Fechado
Equinodermos	Ausente

CIRCULAÇÃO NOS VERTEBRADOS

O anfíoxo (subfilo de cordados marinhos) apresenta o **sistema circulatório intermediário**, isto é, entre o aberto e o fechado. Apesar de ter vasos eferentes e aferentes, não possui capilares e o sangue tem o contato direto com as células do corpo. Esses animais não têm coração, apenas um vaso pulsátil localizado em uma região central no corpo do animal.



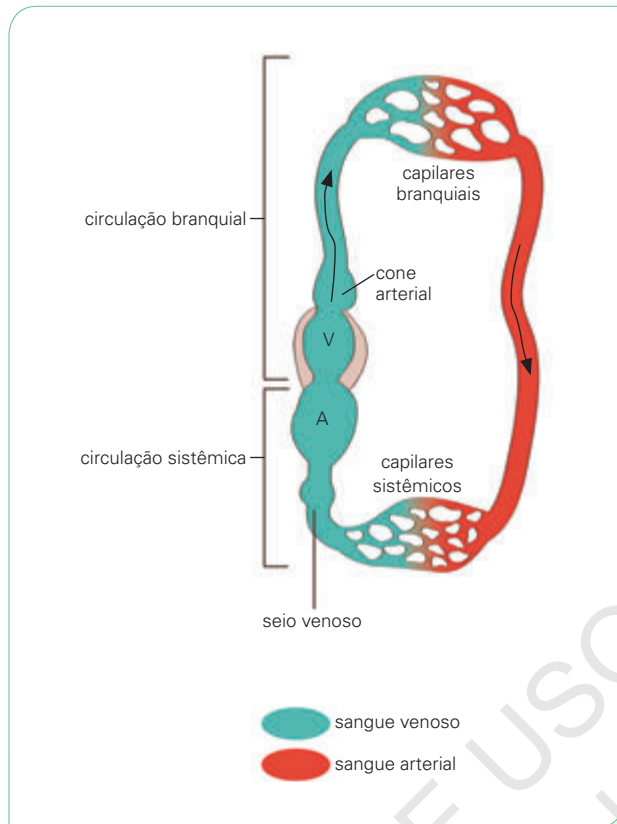
Anatomia do anfíoxo com o átrio e o atríoporo, componentes do vaso pulsátil desse animal. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Peixes

A circulação nos peixes é **simples e completa**, portanto, faz apenas um circuito (coração – brânquias – tecidos do corpo – coração). Em nenhum local ocorre mistura de sangue arterial com o venoso. O coração desses animais é **bicavitário**, formado por duas câmaras, um átrio e um ventrículo, por onde passa apenas sangue venoso, rico em gás carbônico e pobre em oxigênio. O **átrio**, ou **aurícula**, é uma câmara que recebe o sangue vindo dos tecidos, mediante estrutura anterior denominada **seio venoso**, onde várias veias provenientes dos tecidos se encontram e formam uma pequena dilatação. O **ventrículo** (câmara com parede muscular espessa) bombeia o sangue que vem do átrio para a região denominada **cone**, em peixes cartilagosos, ou para um **espessamento da aorta**, em peixes ósseos.

Por meio da aorta ventral, o sangue é bombeado então para os arcos aórticos, que originam os capilares das brânquias (capilares respiratórios). À medida que flui pelas brânquias, o sangue realiza trocas gasosas com a água,

recolhendo oxigênio e liberando gás carbônico, o qual é denominado sangue arterial. Recolhido pela aorta dorsal, o sangue é distribuído para todas as partes do corpo, por meio de vários ramos. Na passagem pelos capilares das brânquias, a pressão é dissipada, tornando relativamente lento o fluxo de sangue pelo corpo.



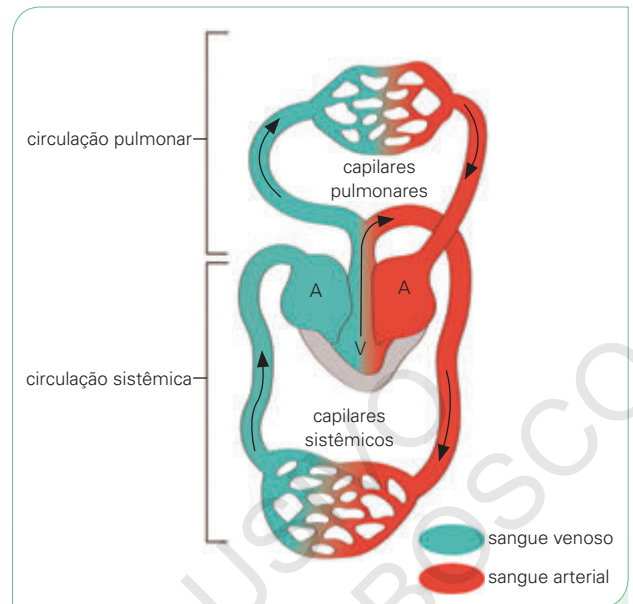
Esquema da circulação fechada, simples e completa em peixes.

Anfíbios

Simultaneamente ao desaparecimento das brânquias e ao surgimento dos pulmões, ocorreram várias modificações no coração e nos vasos sanguíneos dos anfíbios em relação aos seus ancestrais.

O coração é **tricavitário**, com dois átrios – um que recebe sangue arterial dos pulmões e outro que recebe o sangue venoso dos tecidos. Os dois átrios desembocam no **único ventrículo**, onde o sangue misturado é bombeado pelos troncos arteriais simultaneamente para os pulmões e o restante do corpo. Portanto, a circulação dos anfíbios é dupla e incompleta, ou seja, consiste em uma **pequena circulação** (coração – pulmão – coração) e uma **grande circulação** (coração – tecidos do corpo – coração).

No ventrículo único ocorre mistura dos sangues venoso e arterial. No entanto, ao contrário do que se pode pensar, a mistura de sangue no ventrículo não é tão danosa por dois motivos: **1)** o sangue que vem do corpo é parcialmente oxigenado ao passar pela pele (respiração cutânea); **2)** fatores hidrodinâmicos fazem com que a mistura no ventrículo seja apenas parcial.

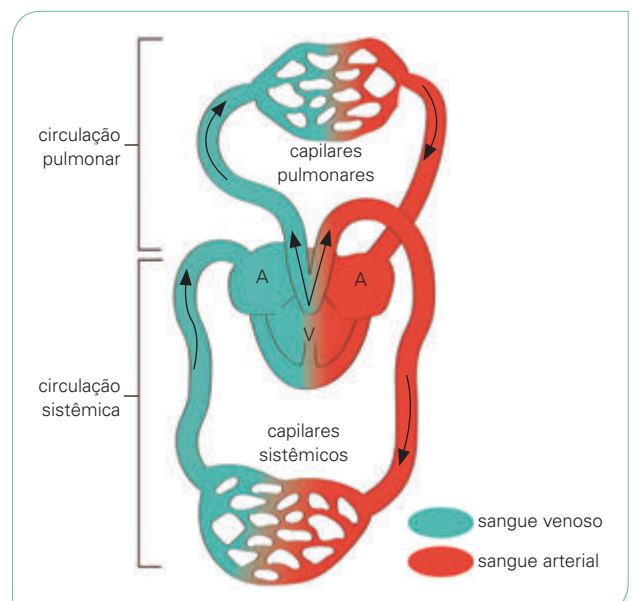


Esquema da circulação fechada, dupla e incompleta em anfíbios.

Répteis

Nos répteis, a circulação é dupla e incompleta. É dupla, porque o sangue passa duas vezes (arterial e venoso) pelo coração, e incompleta, porque há mistura de sangue venoso e arterial no ventrículo. O coração dos répteis, em geral, tem dois átrios e um ventrículo parcialmente dividido pelo **septo interventricular** (septo de Sabatier), o qual impede que haja maior mistura entre os sangues arterial e venoso.

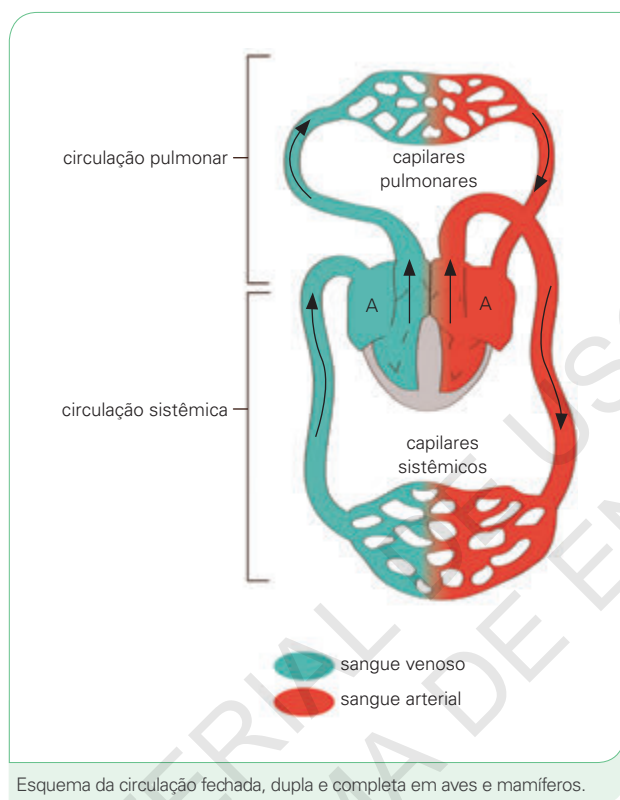
Uma exceção a esse padrão ocorre nos répteis crocodylianos, cujo coração tem quatro câmaras, dois átrios e dois ventrículos, embora haja mistura de sangue no forame de Panizza, intercomunicação entre as artérias aorta e pulmonar. Ocorre a mistura de sangue nas artérias que saem do coração.



Esquema da circulação fechada, dupla e incompleta em répteis (exceto crocodylianos).

Aves e mamíferos

Aves e mamíferos apresentam circulação dupla e completa. Assim como acontece na circulação dos répteis, o sangue passa duas vezes (arterial e venoso) pelo coração. No entanto, trata-se de uma circulação completa, porque não há mistura de sangue arterial com venoso, uma vez que há dois átrios e dois ventrículos no coração desses animais. O sangue venoso proveniente dos tecidos chega ao átrio direito e segue para o ventrículo direito, onde é bombeado para os pulmões. Uma vez oxigenado nos pulmões, o sangue é levado até o átrio esquerdo e, em seguida, ao ventrículo esquerdo, onde é, então, bombeado com plena pressão para os tecidos. Trata-se de um processo bastante diferente do que acontece nos demais padrões de circulação mostrados anteriormente.



LEITURA COMPLEMENTAR

O sistema circulatório especial das girafas

As girafas são mamíferos ruminantes de origem africana que apresentam um pescoço alongado de até 6 metros. Essa altura permite que elas consigam alcançar folhas do alto da copa das árvores, diminuindo a competição por alimento, mas também criam um obstáculo físico para que o sangue chegue ao cérebro desses animais.

Como consequência desse enorme pescoço, o sistema circulatório das girafas precisa de algumas adaptações fisiológicas para permitir que o sangue circule por todo o corpo. Para auxiliar no transporte de gases e de outras substâncias pela corrente sanguínea, os vasos apresentam um conjunto de válvulas, e o coração, dois orifícios, um responsável por direcionar o sangue mais denso para os pulmões e membros e o outro por bombear o sangue menos denso para o cérebro. Na cabeça, mais precisamente nas regiões próximas ao cérebro, existe uma rede de capilares sanguíneos que se ramificam e vasos muito finos. Essa rede atua no equilíbrio do fluxo sanguíneo quando as girafas estão com a cabeça abaixada.

Todas essas adaptações garantem um aporte adequado de oxigênio, nutrientes e outras substâncias para suas atividades físicas e metabólicas.

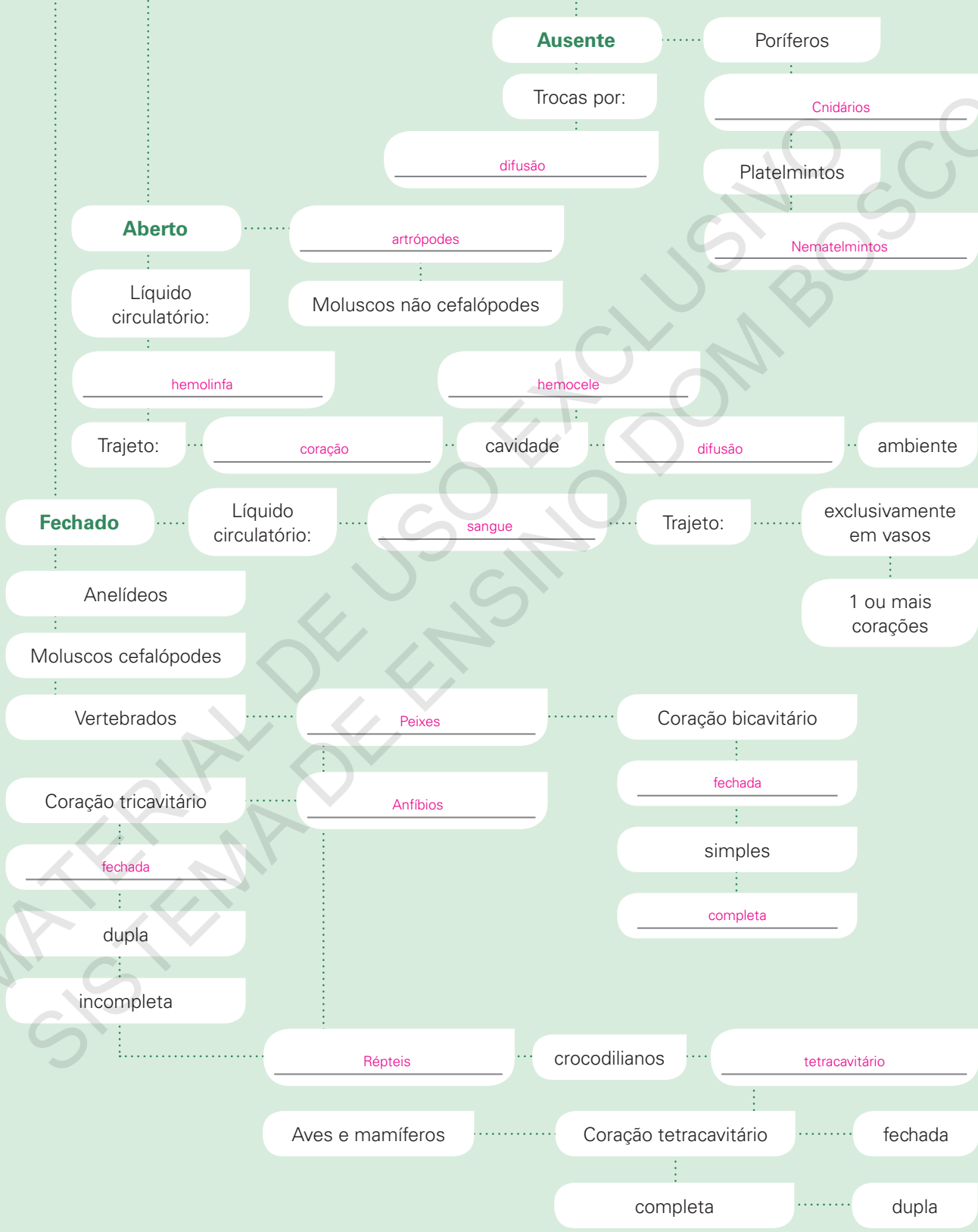
Disponível em: <<http://animalbusiness.com.br/colunas/dicas-e-curiosidades/o-sistema-circulatorio-especial-das-girafas/>>.
Acesso em: jan. 2019. (Adaptado.)



VERMONTALM/SHUTTERSTOCK

ROTEIRO DE AULA

SISTEMA CIRCULATÓRIO



EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. UTFPR-PR – Em muitos animais, o sistema respiratório e o sistema circulatório apresentam relação funcional entre si. Em relação aos dois sistemas, considere as preposições a seguir.

- I. Hematose é a transformação do sangue venoso em arterial.
- II. O sangue que chega aos pulmões é sangue arterial e rico em oxigênio.
- III. A veia pulmonar transporta sangue venoso do pulmão ao coração.
- IV. A artéria pulmonar transporta sangue venoso até o pulmão.

Estão corretas apenas:

- a) I e II. c) II e IV. **e) I e IV.**
 b) II e III. d) III e IV.

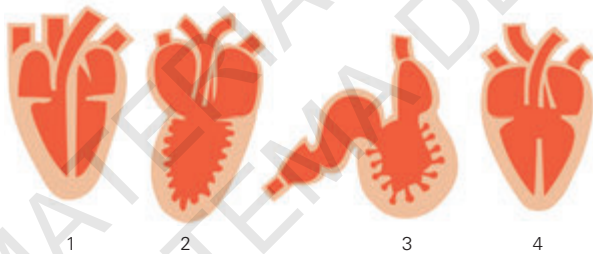
A proposição II está incorreta, porque o sangue que chega aos pulmões é venoso, pobre em oxigênio. A proposição III está incorreta, porque a veia pulmonar transporta sangue arterial (rico em oxigênio) dos pulmões para o átrio esquerdo do coração.

2. Uece-CE – Alguns animais não possuem sistema circulatório, pois realizam suas trocas diretas com o ambiente. Sobre o sistema circulatório, é correto afirmar que

- a) o sangue flui para fora do coração e para dentro dos vasos, através da contração cardíaca, onde a pressão é mais alta.
- b) no sistema vascular fechado dos vertebrados, podem ser identificadas artérias, que transportam sangue para o coração, e as veias, que transportam o sangue a partir do coração.
- c) nos sistemas circulatórios abertos, à medida que o animal se move, o fluido extracelular comprime-se pelos espaços intercelulares.**
- d) nos mamíferos, o sangue é bombeado do coração para os pulmões e de volta para o coração, o que é denominado de circuito sistêmico.

No sistema circulatório aberto, ou lacunar, à medida que o animal se move, o fluido extracelular é comprimido pelos espaços intercelulares denominados lacunas ou hemoceles.

3. Fuvest-SP – Os quatro esquemas representam cortes longitudinais de corações de vertebrados.



- a) Identifique os grupos de vertebrados cujos corações estão representados pelos esquemas 1, 2, 3 e 4.

1. aves e mamíferos; 2. anfíbios;

3. peixes; 4. répteis não crocodilianos.

- b) Descreva o sentido do fluxo sanguíneo no interior de cada um desses corações e indique se neles ocorre mistura de sangue arterial e venoso.

No coração de aves e mamíferos, o sangue venoso passa do átrio direito

para o ventrículo direito, de onde segue aos pulmões. O sangue arterial

passa do átrio esquerdo para o ventrículo esquerdo, de onde segue para

os tecidos. Não há mistura de sangue arterial com venoso. No coração

dos anfíbios, há mistura de sangue arterial e venoso no único ventrículo

lo. O átrio direito envia sangue venoso para o ventrículo, enquanto o

átrio esquerdo envia sangue arterial para o ventrículo. No coração dos

peixes, o sangue venoso passa do átrio para o ventrículo e é lançado

nas brânquias. No coração dos répteis não crocodilianos, há mistura

de sangue arterial com venoso. O sangue venoso passa do átrio direito

para o ventrículo direito e o sangue arterial passa do átrio esquerdo para

o ventrículo esquerdo e, então, para os tecidos corpóreos.

4. EBMS-BA – O sistema circulatório é formado pelos vasos sanguíneos e pelo coração, sendo que o padrão de divisão das cavidades do coração varia entre os vertebrados.

Com relação ao sistema circulatório, é correto afirmar que

- a) o sistema circulatório é uma novidade evolutiva que surge nos artrópodes – apresentam circulação fechada composta de vasos interligados.
- b) o coração dos anfíbios, na fase adulta, possui dois átrios e um ventrículo, o que ocasiona a mistura do sangue venoso com o arterial.**
- c) o coração tetracavitário é uma aquisição evolutiva exclusiva dos mamíferos que possibilita a separação da circulação sanguínea venosa e arterial.
- d) a organização anatômica do coração de répteis e aves impede a mistura do sangue venoso com o arterial.
- e) a artéria pulmonar conduz para o coração o sangue oxigenado nos pulmões.

O sistema circulatório surgiu nos anelídeos, e os artrópodes têm sistema circulatório aberto. Os anfíbios, na fase adulta, possuem coração dividido em dois átrios e um ventrículo, misturando sangue venoso com arterial. O coração tetracavitário, com a separação do sangue venoso do arterial, não é exclusivo de mamíferos e ocorre também em aves. No coração de répteis, há mistura entre sangue venoso e arterial, mesmo em crocodilianos, em que há quatro cavidades. A artéria pulmonar transporta sangue pobre em oxigênio.

5. Udesc-SC

C4-H14

O sistema circulatório no reino animal desempenha um importante papel no transporte de substâncias. Com relação a este sistema, assinale a alternativa que contém apenas animais cujo sistema circulatório é do tipo fechado.

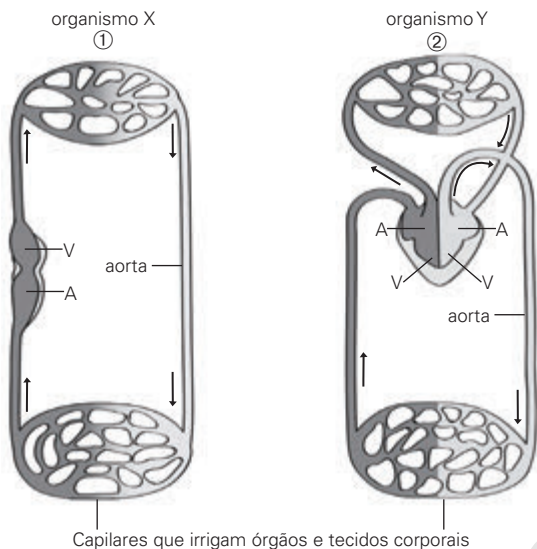
- a) Polvo, marisco, borboleta e abelhas.
- b) Água-viva, esponjas, sanguessuga e lambari.
- c) Minhocas, pinguim, leão e jacaré.**
- d) Centopeia, aranhas, escorpiões e opilões.
- e) Camarão, lagosta, gatos e ursos.

Apresentam sistema circulatório fechado os representantes dos filos anelídeos (minhocas, sanguessugas, poliquetas etc.) e do subfilo craniados do filo cordados (peixe, anfíbios, répteis, aves e mamíferos).

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Identificar padrões em fenômenos e processos vitais dos organismos, como manutenção do equilíbrio interno, defesa, relações com o ambiente, sexualidade, entre outros.

6. UEL-PR – Além do transporte de gases, a circulação sanguínea transporta outros solutos, calor e nutrientes. Cada classe de vertebrados tem um tipo muito uniforme de circulação, mas as diferenças entre as classes são substanciais, principalmente quando se comparam os vertebrados aquáticos com os terrestres. As figuras a seguir representam dois tipos de circulação sanguínea observados em vertebrados. A letra V representa os ventrículos e a letra A representa os átrios. As setas indicam a direção do fluxo sanguíneo.



Com base na figura e nos conhecimentos sobre circulação sanguínea, responda aos itens a seguir.

a) Que órgãos são representados pelos números 1 e 2? Cite uma classe animal à qual pode pertencer o organismo X e outra à qual pode pertencer o organismo Y.

O número 1 representa as brânquias e o número 2 representa os pulmões. O organismo X pode ser um peixe ou um anfíbio e o organismo

Y pode ser uma ave ou um mamífero.

b) Que vantagens apresenta a circulação dupla completa, no organismo Y, em relação à circulação encontrada no organismo X?

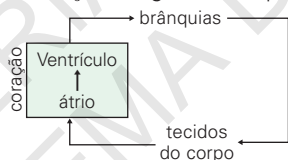
Maior disponibilidade de oxigênio e, conseqüentemente, aquisição de níveis metabólicos mais elevados.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. Udesc-SC – O sangue arterial circula de maneira independente do sangue venoso. Assinale a alternativa que tem exemplos de animais com este tipo de coração.

- Sabiás – jararacas – rãs e salmões.
- Jacarés – pardais – cavalos e leões.
- Sapos – tainhas – tartarugas e hipopótamos.
- Tigres – salamandras – cobras e bagres.
- Gorilas – tubarões – lagartixas e golfinhos.

8. Fuvest-SP – O esquema representa, de maneira simplificada, a circulação sanguínea em peixes.



Pode-se afirmar corretamente que, nos peixes,

- o coração recebe somente sangue pobre em oxigênio.
- ocorre mistura de sangue pobre e de sangue rico em oxigênio, como nos répteis.
- o sangue mantém constante a concentração de gases ao longo do percurso.
- a circulação é dupla, como ocorre em todos os demais vertebrados.
- o sistema circulatório é aberto, pois o sangue tem contato direto com as brânquias.

9. UFSC-SC – A difusão de substâncias é um mecanismo de transporte muito lento para distâncias superiores a poucos milímetros. Existem duas diferentes estratégias adaptativas para resolver este problema em animais:

(1) apresentar um tamanho e formato de corpo capaz de fazer com que um grande número de células realize trocas com o ambiente e (2) apresentar um sistema circulatório que transporte um líquido e que este passe próximo das células.

Observe as figuras abaixo e indique a soma da(s) proposição(ões) correta(s):

GRAFAXART/
SHUTTERSTOCK

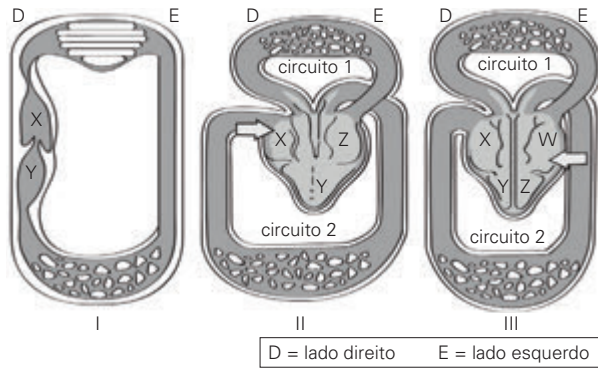
EILEEN KUMPF/
SHUTTERSTOCK

CLARK UKIDU/
SHUTTERSTOCK



- O animal representado em A não apresenta sistema circulatório distinto; neste grupo, a cavidade gastrointestinal apresenta duas funções: a digestão e a distribuição de substâncias em todo o corpo.
- O animal representado em B apresenta sistema circulatório fechado e sua hemolinfa circula inteiramente dentro de vasos.
- O animal representado em C apresenta sistema circulatório aberto, assim o sangue se mistura com o líquido intersticial.
- Os animais representados em B e C apresentam coração e sistema circulatório fechado. Além disso, a difusão de gases se dá através de um sistema respiratório traqueal.
- Os animais mostrados em A, B e C possuem como pigmento respiratório a hemoglobina.
- O sistema circulatório fechado proporciona maior pressão, permitindo oxigenação e nutrição mais eficientes para as células de animais maiores e mais ativos.

10. Fuvest-SP – As figuras I, II e III esquematizam a circulação sanguínea em diferentes vertebrados.



a) Analise a Figura II. A partir da cavidade apontada pela seta, ordene as demais cavidades cardíacas e os circuitos 1 e 2, na sequência correspondente à circulação do sangue.

b) Faça o mesmo em relação à Figura III.

c) Qual(is) das três figuras mostra(m) o coração em que há mistura de sangue arterial e sangue venoso?

d) Dê um exemplo de grupo de vertebrados para o tipo de circulação esquematizado em cada uma das três figuras.

11. IFPE-PE – Com relação à estrutura do coração dos vertebrados, analise as alternativas abaixo e assinale a correta.

- Nos peixes ósseos, encontramos duas cavidades e, nos peixes cartilaginosos, três cavidades.
- Nos anfíbios ocorre mistura total de sangue nos átrios.
- Nos répteis crocodylianos, a mistura parcial do sangue ocorre fora do coração no forame de Panizza.
- Nas aves, a circulação é simples e incompleta.
- Nos mamíferos, a válvula bicúspide encontra-se no lado direito do coração.

12. UEM-PR – Todas as células de um animal precisam receber substâncias nutritivas e gás oxigênio (O_2). O transporte dessas e de outras substâncias pelo corpo do animal ocorre de diversas maneiras. Sobre isso, assinale a(s) alternativa(s) correta(s).

- A distribuição de substâncias pelo corpo, de célula a célula, conhecida como difusão, é um processo lento, sendo o único mecanismo de transporte em animais pequenos, como poríferos, cnidários e platelmintos.
- Nos nematóides e turbelários, o gás oxigênio absorvido pela superfície do corpo e os nutrientes assimilados pela parede do tubo digestório difundem-se para o líquido do celoma, atingindo todas as partes do corpo.
- Os artrópodes têm sistema circulatório aberto e em seus vasos flui um líquido chamado hemolinfa.
- Em um animal com sistema circulatório fechado, o sangue circula a partir do coração para as artérias, capilares, veias, hemoceles e coração.
- A distribuição de nutrientes e de gás oxigênio no corpo de uma minhoca é feita pelo sangue.

13. Unisc-RS – A circulação sanguínea dos peixes é completa e simples. Completa, porque o sangue arterial e o venoso não se misturam, e simples, porque o fluxo sanguíneo passa somente uma vez pelo coração. Conforme estas características morfológicas e anatômicas, pode-se dizer que o coração dos peixes ósseos tem

- um ventrículo e dois átrios.
- dois ventrículos e um átrio.
- um ventrículo e nenhum átrio.
- um ventrículo e um átrio.
- nenhum ventrículo e dois átrios.

14. PUC-RJ – Descreva as principais diferenças entre os sistemas circulatórios de peixes, anfíbios, répteis, aves e mamíferos.

15. Udesc-SC – Analise as proposições abaixo, em relação à circulação dos vertebrados e dos invertebrados.

- I. O coração dos peixes possui duas dilatações principais: um átrio e um ventrículo. O sangue com gás carbônico é levado pelas veias para o seio venoso, logo, o sangue é levado para o átrio. O átrio bombeia o sangue para o ventrículo e este o bombeia para o cone arterial ou bulbo arterioso.
- II. Os anfíbios possuem uma circulação fechada e completa, que passa por um coração com duas cavidades (um átrio e um ventrículo).
- III. Nos anelídeos e nos moluscos cefalópodes, a circulação é fechada. O sangue tem um fluxo de circulação que ocorre no interior dos vasos sanguíneos.
- IV. Os répteis possuem um coração com três cavidades. Em alguns répteis, o ventrículo é parcialmente dividido pelo septo de Sabatier.

Assinale a alternativa correta.

- a) Somente as afirmativas I, III e IV são verdadeiras.
- b) Somente as afirmativas II e IV são verdadeiras.
- c) Somente as afirmativas I, II e III são verdadeiras.
- d) Somente as afirmativas I, II e IV são verdadeiras.
- e) Somente as afirmativas II e III são verdadeiras.

16. Uerj-RJ – Os capilares são vasos sanguíneos que permitem, por difusão, as trocas de substâncias, como nutrientes, excretas e gases, entre o sangue e as células.

Essa troca de substâncias é favorecida pela seguinte característica dos capilares:

- a) camada tecidual única.
- b) presença de válvulas móveis.
- c) túnica muscular desenvolvida.
- d) capacidade de contração intensa.

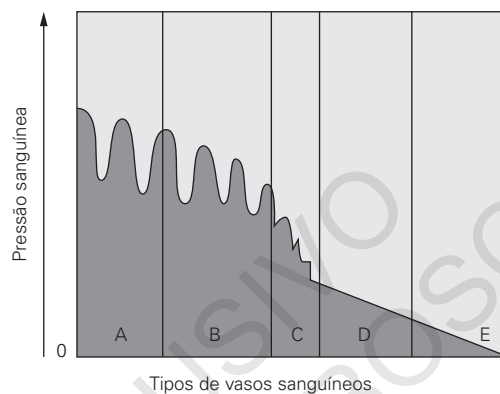
17. Fuvest-SP (adaptada)

A aorta da baleia é de diâmetro maior do que o cano principal do sistema hidráulico da Torre de Londres, e a água

que passa por ali tem menos ímpeto e velocidade do que o sangue que jorra do seu coração.

Herman Melville, *Moby Dick*.

A figura representa a pressão do sangue em seu percurso ao longo do sistema circulatório da baleia. As letras A, B, C, D e E correspondem a diferentes vasos sanguíneos.



Quais são as letras que correspondem, respectivamente, à aorta e às grandes veias?

ESTUDOS PARA O ENEM

18. Sistema Dom Bosco

C4-H14

Um estudo da Universidade de Berkeley, no Estado americano da Califórnia, revelou que o beija-flor macho atinge uma velocidade proporcionalmente “maior do que a de aviões de caça” quando mergulha durante um voo para impressionar as fêmeas.

Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/ciencia/2009/06/090610_beijaflogr>. Acesso em: jan. 2019.

A intensa atividade muscular realizada pelas asas do beija-flor requer alto consumo de oxigênio. Para suprir essa demanda, o sistema circulatório desses animais é

- a) fechado, duplo, completo com coração tetracavitário.
- b) fechado, simples, completo com coração tricavitário.
- c) aberto, simples, completo e com coração tricavitário.
- d) fechado, simples, incompleto e com coração tetracavitário.
- e) aberto, duplo, completo e com coração bicavitário.

19. Sistema Dom Bosco

C4-H14

Observe a charge abaixo, do cartunista Bennet.



Disponível em: <<http://tratordesgovernado.blogspot.com/2015/06/variacoes-sobre-o-mesmo-tema-kafka-por.html>>. Acesso em: nov. 2018.

A charge da página anterior faz uma alusão ao livro *Metamorfose*, do escritor austro-húngaro Franz Kafka, em que o protagonista acorda de sonhos turbulentos metamorfoseado em um inseto gigante. Para a tranquilidade da humanidade, os insetos são animais de pequeno porte. Algumas justificativas que refutam a possibilidade do surgimento de insetos gigantes são:

- a) Apresentam sistema circulatório fechado e sistema respiratório cutâneo.
- b) Apresentam sistema circulatório fechado e sistema respiratório pulmonar.
- c) Apresentam sistema circulatório aberto e sistema respiratório traqueal.
- d) Apresentam sistema circulatório aberto e sistema respiratório pulmonar.
- e) Apresentam sistema circulatório aberto e sistema respiratório cutâneo.

20. Sistema Dom Bosco

C4-H14

Não é de hoje que o coração é associado às mais profundas emoções humanas – na verdade, esse conceito é bastante

antigo. Existem relatos que comprovam que Aristóteles já se referia ao órgão como o centro das atividades emocionais do corpo humano. Bonito, não? Daí para a representação do amor, foi um pulo. Falando em outras culturas, os egípcios acreditavam que o coração era uma parte do corpo na qual residiam nosso espírito e intelecto. Era o único órgão não retirado dos cadáveres nos processos de mumificação. Já os gregos usavam a mesma simbologia para falar de regeneração – quando o assunto era o amor mais carnal, a representação era feita pelo deus Eros.

Disponível em: <<https://www.megacurioso.com.br/historia-e-geografia/37031-por-que-o-simbolo-do-coracao-tem-esse-formato-.html>>. Acesso em: jan. 2019.

A estrutura do coração dos animais vertebrados é distinta. Assinale a alternativa correta.

- a) Aves e répteis são tricavitários.
- b) Anfíbios e peixes são bicavitários.
- c) Mamíferos e aves são tetracavitários.
- d) Répteis crocódilanos são tricavitários.
- e) Peixes e anfíbios são tricavitários.

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO DO SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

SISTEMA CIRCULATÓRIO HUMANO

19

A circulação é um processo vital para nós, humanos. Graças a ela, oxigênio, hormônios, nutrientes e outras substâncias chegam a todas as células de nosso corpo.

O coração é o principal elemento desse sistema. Ele atua como uma bomba, exercendo pressão para que o sangue circule na complexa rede de artérias, arteríolas, veias, vênulas e capilares do corpo.

Ao se contrair, o coração impulsiona o sangue para as artérias. É possível perceber esse fluxo pela expansão daquelas próximas à pele, como no pescoço e no punho. Podemos notar os batimentos cardíacos em virtude do processo chamado **pulsção** ou **pulso arterial**. O número de pulsações por minutos corresponde à quantidade de batimentos do coração durante esse mesmo período. A isso chamamos de **frequência cardíaca**.

Se quisermos aferir o pulso de outra pessoa, é importante não usarmos nosso polegar. Como esse dedo tem pulsação própria, sentimos, portanto, nosso pulso.

Uma pessoa em repouso, em geral, apresenta frequência cardíaca de 60 a 80 batimentos por minuto. Em atletas, esse número pode ser menor. Somente um profissional da saúde pode avaliar se valores fora desse intervalo são de fato um problema. Após a prática de exercícios intensos ou sob forte emoção, a frequência da pulsação aumenta, porque o coração bate mais rápido e mais forte. Embora tenha um sistema autônomo, o coração é influenciado pelo sistema nervoso e por alguns hormônios, como a adrenalina.



LAFLOIR/ISTOCKPHOTO.COM

Uma das maneiras de aferir a pulsação é sentir o fluxo na artéria do pescoço.

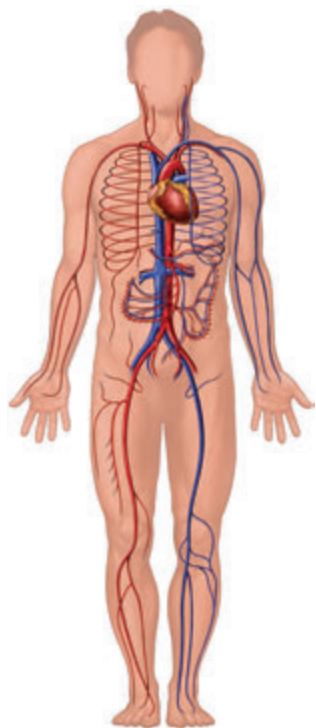
- Sistema cardiovascular
- Sistema linfático

HABILIDADES

- Identificar os componentes do sistema circulatório humano e sua relação com o sistema respiratório.
- Reconhecer as diferenças morfológicas entre artérias, veias e capilares.
- Conhecer as principais doenças cardiovasculares humanas.
- Compreender a estrutura do sistema linfático e suas funções.

Sistema cardiovascular

Os principais componentes desse sistema são o sangue, o coração e os vasos sanguíneos.



NUCLEUS MEDICAL MEDIA INC / ALAMY STOCK PHOTO

Esquema do sistema circulatório humano. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

VASOS SANGUÍNEOS

Os diferentes vasos sanguíneos formam uma rede de tubos que conduzem o sangue pelo corpo humano.

As **artérias** são vasos que apresentam três camadas:

- a mais externa é rica em fibras elásticas e colágenas, formada por tecido conectivo;
- a intermediária é composta de musculatura lisa e fibras colágenas;
- a mais interna é originada pelo endotélio (células epiteliais).

Essas camadas espessas, ricas em fibras musculares lisas e elásticas, são responsáveis por conduzir o sangue sob alta pressão do coração para os diversos tecidos e órgãos corporais. A contração e o relaxamento arterial, por sua vez, controlam a pressão sanguínea.

As **veias**, assim como as artérias, são formadas por três camadas:

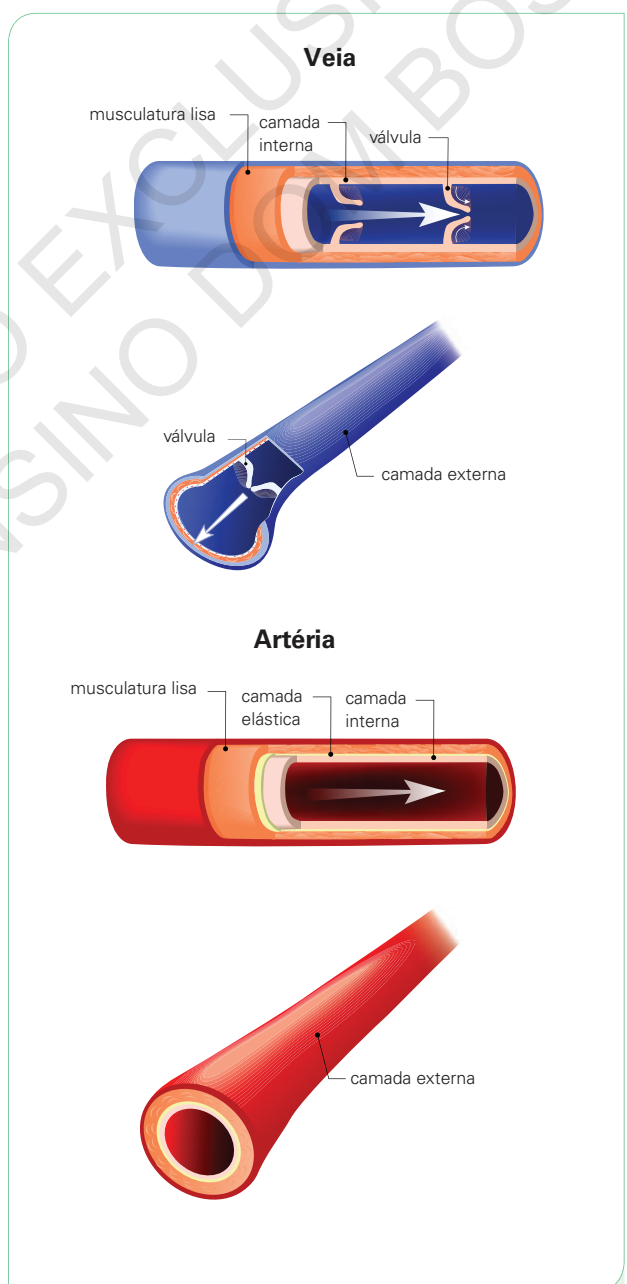
- a interna é composta de células planas sobre uma membrana basal fina de tecido conectivo (endotélio);
- a intermediária é mais resistente, formada por tecido muscular e conectivo;
- a mais externa é menos espessa, com fibras elásticas ausentes.

As paredes musculares das veias são mais finas que as das artérias, porque não auxiliam no impulso do sangue.

O fluxo sanguíneo sob baixa pressão retorna de tecidos e órgãos corporais até o coração. Por também atuar contra a gravidade, as veias contam com válvulas no interior de suas paredes, e a movimentação da musculatura das regiões inferiores impede o refluxo sanguíneo.

É importante perceber que o fator diferencial entre artérias e veias é a direção do fluxo sanguíneo, e não seu conteúdo (sangue rico em oxigênio ou em gás carbônico). Quando o fluxo sai do coração em direção aos órgãos e tecidos, sempre com muita pressão, o vaso responsável é uma artéria. Quando retorna dos tecidos para o coração, com menos pressão, o vaso responsável é a veia.

No entanto, a veia porta hepática é a exceção desse sistema, porque transporta sangue dos leitos dos capilares do sistema digestório para os leitos capilares do fígado.

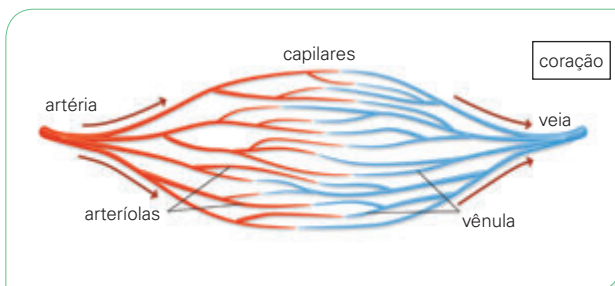


Esquema comparando a morfologia de veias e artérias humanas. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

DESIGNUA/SHUTTERSTOCK

Os **capilares** são as ramificações mais finas dos vasos. Apresentam um pequeno calibre que se interpõe entre artérias e veias. Suas paredes são bem delgadas, e o endotélio tem uma única camada de células, através da qual o sangue e os tecidos efetuam trocas de gases. Na extremidade arterial dos capilares, a pressão hidrostática do sangue (que força a saída de água) é maior que a pressão osmótica (que faz a água entrar no capilar). Com isso, há extravasamento de líquido para o interstício. Na extremidade venosa, acontece o contrário: a pressão osmótica do plasma é maior que a pressão hidrostática do sangue, e a água, então, entra no capilar.

UNIVERSAL IMAGES GROUP NORTH AMERICA LLC / ALAMY STOCK PHOTO



Esquema do sentido do fluxo sanguíneo. Nas artérias (em vermelho), o sangue é transportado do coração para os capilares. Nas veias (em azul), vai dos capilares para o coração. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

ANATOMIA DO CORAÇÃO

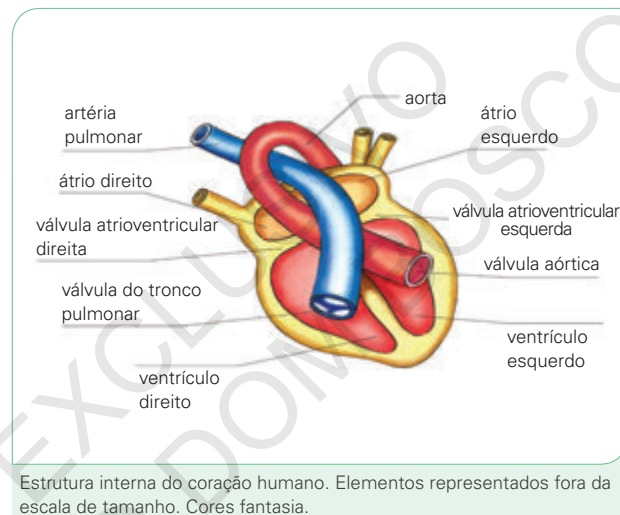
Esse órgão está localizado no meio da caixa torácica, atrás do osso esterno, ligeiramente deslocado para a esquerda. O coração humano é revestido externamente por uma membrana serosa chamada **pericárdio** e internamente pelo **endocárdio**. É um órgão muscular, com uma cavidade interna, constituído por uma musculatura estriada cardíaca, chamada **miocárdio**, cujas contrações são involuntárias.

O coração humano é tetracavitário, composto de quatro câmaras ou cavidades: dois átrios (direito e esquerdo) e dois ventrículos (direito e esquerdo). Essa constituição cardíaca também ocorre em crocodilianos, aves e outros mamíferos, como vimos no módulo anterior.

Pelo lado direito do coração, passa apenas sangue venoso. Pelo esquerdo, somente sangue arterial. Não há comunicação entre os átrios direito e esquerdo. O mesmo acontece com os ventrículos direito e esquerdo. Isso ocorre porque essas estruturas são separadas entre si pelo septo atrial e pelo septo ventricular, respectivamente. Essa divisão impede que o sangue venoso, pobre em oxigênio, misture-se ao sangue arterial oxigenado.

O átrio direito comunica-se com o ventrículo direito por meio da válvula atrioventricular direita (também chamada de tricúspide). O átrio esquerdo, por sua vez,

comunica-se com o ventrículo esquerdo por meio da válvula atrioventricular esquerda (também denominada de bicúspide ou mitral). Conjuntamente, ambas impedem o retorno do sangue para os átrios. Isso acontece inclusive no momento da passagem do sangue dos ventrículos para as artérias: a válvula do tronco pulmonar e a válvula aórtica (chamadas de semilunares) impedem o refluxo de sangue durante o relaxamento da musculatura cardíaca, conhecida como diástole.



Estrutura interna do coração humano. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

ASKLEPIOS MEDICAL-ATLAS / SCIENCE PHOTO LIBRARY / FOTOARENA

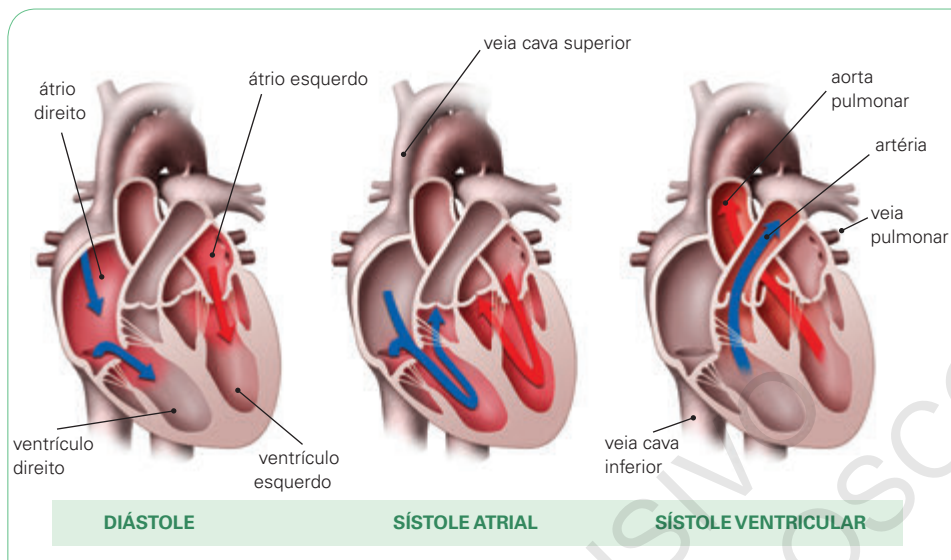
MECANISMO DA CIRCULAÇÃO SANGUÍNEA

O estímulo para que a musculatura cardíaca se contraia origina-se no próprio coração, por meio do **nó** ou **nódulo sinoatrial**. Essa estrutura atua como um marca-passo natural. Situada na parede do átrio direito, é composta de um aglomerado de células musculares especializadas. As células do nódulo sinoatrial emitem um sinal elétrico que se propaga pela musculatura dos átrios, provocando sua contração – a chamada sístole atrial e ventricular. O processo completo de contrações e relaxamentos é denominado **ciclo cardíaco**.

Podemos dividir o mecanismo de circulação sanguínea humana em dois circuitos: **pequena circulação (pulmonar)** e **grande circulação (sistêmica)**.

Na pequena circulação, o sangue venoso sai do ventrículo direito e, pela artéria pulmonar, chega ao pulmão, em que se transforma em sangue arterial. Depois de deixar o pulmão pelas veias pulmonares, chega ao ventrículo esquerdo.

Na grande circulação, o sangue arterial sai do ventrículo esquerdo e é distribuído para todo o organismo por meio da artéria aorta. Os tecidos corporais recebem, então, o aporte de oxigênio. O sangue, em contrapartida, fica rico em gás carbônico e torna-se venoso. As veias cavas superior e inferior direcionam o sangue de volta ao coração pelo átrio direito.



Esquema da entrada do sangue pela veia cava no átrio direito (circulação pulmonar) e pelas veias pulmonares no átrio esquerdo (circulação sistêmica). Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

PRESSÃO SANGÜÍNEA E DOENÇAS CARDIOVASCULARES

Quando circula pelo corpo humano, o sangue exerce uma pressão nas paredes arteriais. Por esse motivo, o coração bate sistematicamente em intervalos regulares.

Há dois tipos de pressão: uma decorrente da força imposta pelo coração e outra imposta pelo calibre arterial. A força realizada pelo coração para impulsionar o sangue é denominada **sistólica** (pressão máxima), medida durante a sístole ventricular. Já a resistência exercida pelas paredes arteriais ao sangue impulsionado é chamada de **diastólica** (pressão mínima), medida durante a diástole ventricular.

A pressão sanguínea nas artérias durante a sístole cai de 120 mmHg para 80 mmHg, em diástole. Por isso, a pressão arterial normal de uma pessoa adulta é 12 por 8. À medida que as artérias se ramificam, a pressão diminui. Ela então se torna insuficiente para trazer o sangue de volta ao coração. O retorno se deve, principalmente, à ação dos músculos esqueléticos. Estes, ao se contraírem, impulsionam o sangue pelas veias de volta no sentido do coração.

O esfigmomanômetro é o aparelho utilizado para medir a pressão arterial. Quando, por exemplo, são detectados valores de 11 por 7, a informação é de que a pressão máxima é de 110 mmHg, e a resistência da parede arterial, de 70 mmHg. Esse valor é considerado o de uma pressão sanguínea normal.



Esfigmomanômetro sendo usado para aferir a pressão arterial.

Doenças cardiovasculares

Recebem esse nome os problemas que acometem o coração e os vasos sanguíneos.

A arteriosclerose é uma patologia que provoca espessamento e redução da elasticidade das paredes arteriais. A principal causa é a deposição de placas de gordura, chamadas de **ateromas**. Estas, ao longo do tempo, calcificam-se e promovem um estreitamento das paredes arteriais, comprometendo a irrigação sanguínea em órgãos e tecidos (isquemia). Os sintomas e as consequências principais são: dores no peito que se irradiam para o ombro ou o braço esquerdo; aumento das chances de coágulos; dor nos membros inferiores; infarto; e acidente vascular cerebral, mais conhecido como AVC.

Hipertensão é uma doença crônica considerada um problema de saúde pública. É caracterizada pelos níveis elevados da pressão sanguínea nas artérias. Essa patologia acontece quando os valores das pressões máxima e mínima são iguais ou ultrapassam os 140/90 mmHg (14 por 9).

A pressão alta faz com que o coração tenha de exercer um esforço maior que o normal para que o sangue seja distribuído corretamente no corpo. Isso aumenta as chances de ocorrência de acidente vascular cerebral, enfarte, aneurisma arterial e insuficiência renal e cardíaca. Os pacientes hipertensos apresentam sintomas, como dores no peito; dor de cabeça; tonturas; zumbido no ouvido; fraqueza; visão embaçada; e sangramento nasal.

Os principais fatores de risco para a hipertensão incluem: herança genética; tabagismo; consumo de bebidas alcóolicas; obesidade; consumo excessivo de sal; níveis elevados de colesterol, além de sedentarismo e estresse. A pressão alta não tem cura, mas tem tratamento e pode ser controlada. O uso de medicamentos receitados por um médico e a adoção de um estilo de vida saudável são imprescindíveis.

Sistema linfático humano

A **linfa** é formada de parte do fluido extravasado dos capilares sanguíneos. Além disso, apresenta na composição o plasma, rico em leucócitos. O sistema linfático é caracterizado como uma via acessória, pois, por meio do processo de difusão, a linfa retornará ao sistema cardiovascular. Suas principais funções são: remover os fluidos em excesso dos tecidos corporais; absorver ácidos graxos; transportar a gordura para o sistema circulatório; e produzir células imunes (linfócitos, monócitos e plasmócitos).

Por não apresentar um órgão bombeador, a linfa depende de agentes externos para dar pressão ao sistema, como contrações musculares, pulsação de artérias próximas e movimento das extremidades. Os vasos linfáticos têm válvulas unidirecionais que impedem o refluxo da linfa. Durante todo o trajeto dos vasos linfáticos, existem pequenas estruturas denominadas **linfonodos** (também chamados de gânglios linfáticos). Estes atuam na filtração e retenção de restos celulares, células mortas e microrganismos.

Outros componentes do sistema linfático são:

- **timo** – responsável pela maturação dos linfócitos;
- **baço** – que desempenha diversas funções, desde a detecção de substâncias estranhas e resíduos celulares até a destruição de hemácias envelhecidas;
- **tonsilas palatinas** (adenóide) e **tonsilas faríngeas** (amígdalas) – que atuam no reconhecimento e combate de microrganismos que penetram a entrada das vias respiratória e digestória.

Essas estruturas também agem na produção de anticorpos.

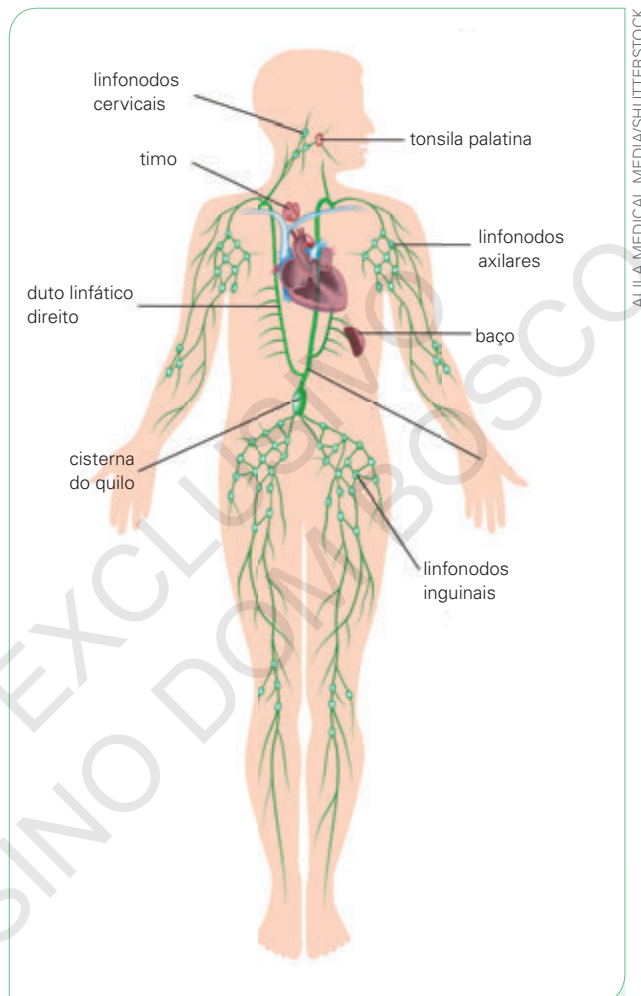
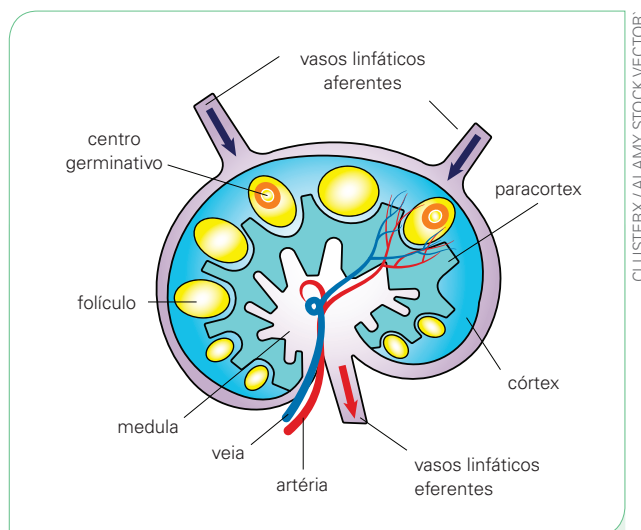


Ilustração do sistema linfático no corpo humano e suas estruturas. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.



Esquema do sentido do fluxo sanguíneo. Nas artérias (em vermelho), o sangue é transportado do coração para os capilares. Nas veias (em azul), vai dos capilares para o coração. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

LEITURA COMPLEMENTAR

O que são varizes?

As varizes nada mais são do que uma dilatação anormal das veias superficiais provocadas pelo refluxo sanguíneo, principalmente na região das pernas. Como a pressão para o transporte do sangue das pernas para o coração é baixa e vai contra a gravidade, as veias precisam de uma estrutura que impeça fisicamente o refluxo sanguíneo: as válvulas. Quando as válvulas apresentam dificuldades de controlar esse refluxo, o sangue empoeira nas veias, deixando-as deformadas e dilatadas.

Essa dilatação promove diversos sintomas circulatórios que envolvem desde o desconforto estético, sensação de peso nas pernas, formigamento, inchaço, sensibilidade, surgimento de manchas escuras até desconforto e dor. A predisposição para o aparecimento das varizes é genética, mas também pode ser ocasionada pela má circulação provocada pela permanência do indivíduo muitas horas na mesma posição, por obesidade, sedentarismo, disfunções hormonais na gravidez, menopausa, entre outros.

A prevenção pode ser feita com um estilo de vida saudável, pela prática constante de exercícios físicos, ingestão adequada de água e uso de meias de compressão.

Os principais tratamentos envolvem aplicações de laser, radiofrequência e, nos casos mais sérios, são recomendadas cirurgias vasculares.

Disponível em: <<https://drauziovarella.uol.com.br/doencas-e-sintomas/varizes/>>. Acesso em: jan. 2019. (Adaptado)

FORTONI/STOCKPHOTO.COM



Varizes na perna de uma pessoa.

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO DO SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

ROTEIRO DE AULA

SISTEMA CIRCULATORIO HUMANO

SISTEMA CARDIOVASCULAR

componentes

vasos sanguíneos

sistema linfático

sangue

componentes

coração

linfa

vasos linfáticos

movimentos

contração

linfonodos

sístole

diástole

relaxamento

pequena circulação

grande circulação

ventrículo

direito

ventrículo

esquerdo

artérias pulmonares

aorta

pulmão

tecidos

veias

pulmonares

veia

cava

átrio

esquerdo

átrio

direito

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO DO DOM BOSCO
SISTEMA DE ENSINO

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. EBMSP-BA – Em certos órgãos, o fluxo sanguíneo serve a outros propósitos além do fornecimento de nutrientes e remoção de resíduos. Na pele, por exemplo, o fluxo sanguíneo influencia a perda de calor, o que ajuda a controlar a temperatura corporal. A distribuição de quantidades apropriadas de sangue para os rins permite que esses possam excretar, rapidamente, os resíduos produzidos pelo corpo.

GUYTON & HALL. *Fundamentos de Fisiologia*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012, p. 116.

A circulação de sangue pelo corpo responde por uma miríade de funções orgânicas. Com base nesse fato e nos conhecimentos sobre fisiologia, é possível afirmar:

- A perda de calor, através da circulação periférica, é essencial para o ajuste homeotérmico do corpo, principalmente, em situações de baixas temperaturas ambientais.
- A circulação sanguínea redimensiona e efetiva a importância dos sistemas respiratório e digestório em relação ao fornecimento dos reagentes necessários à manutenção das taxas metabólicas celulares.
- os rins funcionam como um filtro responsável em captar do sangue e eliminar as substâncias residuais e nocivas do metabolismo, como a água e a glicose.
- O transporte de hormônios pelo sangue encurta a distância existente entre as glândulas exócrinas e as células alvos que se localizam espalhadas pelo corpo.
- As células sanguíneas do tipo leucócitos são elementos ativos na manutenção da estabilidade do fluxo sanguíneo ao inibir a perda consistente de fluido vascular em situações de hemorragias pelo corpo.

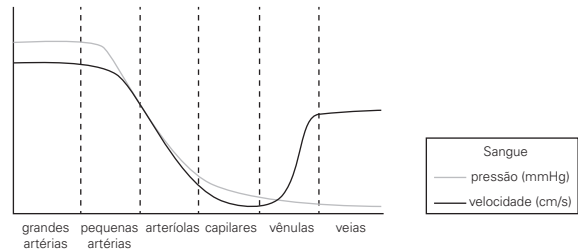
O sistema cardiovascular (circulatório) integra os sistemas respiratório e digestório, importantes para o fornecimento adequado de oxigênio e nutrientes às células do corpo.

2. Fuvest-SP – No sistema circulatório humano,

- a veia cava superior transporta sangue pobre em oxigênio, coletado da cabeça, dos braços e da parte superior do tronco, e chega ao átrio esquerdo do coração.
- a veia cava inferior transporta sangue pobre em oxigênio, coletado da parte inferior do tronco e dos membros inferiores, e chega ao átrio direito do coração.
- a artéria pulmonar transporta sangue rico em oxigênio, do coração até os pulmões.
- as veias pulmonares transportam sangue rico em oxigênio, dos pulmões até o átrio direito do coração.
- a artéria aorta transporta sangue rico em oxigênio para o corpo, por meio da circulação sistêmica, e sai do ventrículo direito do coração.

A alternativa A está incorreta, porque a veia cava superior leva sangue para o átrio direito do coração. A alternativa C está incorreta, pois a artéria pulmonar transporta sangue pobre em oxigênio do corpo para ser oxigenado nos pulmões. A alternativa D está incorreta, porque o sangue rico em oxigênio vindo dos pulmões é levado ao átrio esquerdo do coração. A alternativa E está incorreta, pois o sangue rico em oxigênio transportado pela aorta provém do ventrículo esquerdo do coração.

3. Uerj – O sistema circulatório humano apresenta características estruturais específicas para suportar a grande pressão do sangue bombeado pelo coração, no caso das artérias, bem como para manter a velocidade do fluxo em direção ao coração, mesmo sob baixa pressão, no caso das veias. Observe no gráfico as principais variações nesse sistema.



Indique duas características da composição da parede das artérias que possibilitam a passagem do sangue sob grande pressão. Indique, também, dois fatores que possibilitam a passagem do sangue pelas veias em velocidade quase tão alta quanto a verificada nas artérias.

Em um sistema circulatório fechado, a pressão sanguínea nas grandes

artérias é garantida pelos seguintes fatores: impulso do sangue pela

sístole (contração) do ventrículo esquerdo do coração e presença de

espessa musculatura lisa em suas paredes. A contração e o relaxamento

dessa musculatura, realizados pelas terminações nervosas do sistema

nervoso autônomo, mantêm a pressão arterial adequada às diversas

atividades humanas. O transporte do sangue pelas vias é rápido, pois a

musculatura esquelética comprime as paredes de veias, e válvulas em

seu interior impedem o retorno venoso dos tecidos do corpo.

4. PUC-SP – “Por meio de (I) ____, o sangue (II) ____ chega ao coração e sai deste para os tecidos por meio da (III) ____.”

No trecho acima, as lacunas I, II e III, podem ser preenchidas, correta e respectivamente, por:

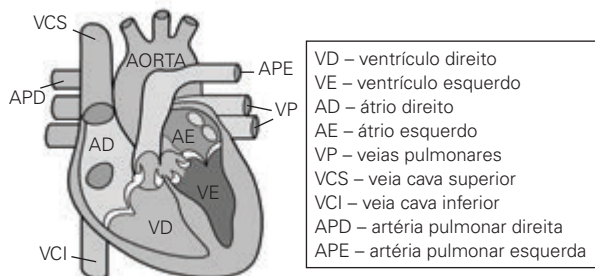
- artérias pulmonares, pobre em oxigênio e veia aorta.
- artérias pulmonares, rico em oxigênio e veia aorta.
- veias pulmonares, pobre em oxigênio e artéria aorta.
- veias pulmonares, rico em oxigênio e artéria aorta.
- artérias e veias, rico em oxigênio e veia aorta.

O caminho percorrido pelo sangue no coração ocorre da seguinte forma: veias pulmonares levam o sangue que acabou de ser oxigenado nos pulmões ao coração, por meio do átrio esquerdo. Nele, o sangue adquire velocidade e é levado para oxigenar os tecidos, por meio da artéria aorta.

5. Udesc

C4-H15

A figura representa o esquema de um coração humano, no qual estão indicadas algumas de suas estruturas.



Analise as proposições em relação a este órgão.

- I. O sangue arterial circula dentro das artérias e o venoso, dentro das veias.
- II. As artérias pulmonares esquerda e direita conduzem o sangue venoso aos pulmões.
- III. O ventrículo direito do coração possui paredes mais espessas do que o ventrículo esquerdo, pois tem que impulsionar o sangue rico em oxigênio para todo o corpo.
- IV. As veias cavas trazem o sangue venoso dos pulmões ao átrio direito do coração.
- V. As paredes das veias possuem músculos que auxiliam na impulsão do sangue.

Assinale a alternativa correta:

- a) Somente as afirmativas II, III, e IV são verdadeiras.
- b) Somente as afirmativas I, II e IV são verdadeiras.

- c) Somente a afirmativa II é verdadeira.
- d) Somente as afirmativas I, III e V são verdadeiras.
- e) Somente as afirmativas III e V são verdadeiras.

As artérias pulmonares e umbilicais transportam sangue venoso. A veia umbilical e as veias pulmonares transportam sangue arterial. O ventrículo esquerdo do coração tem paredes mais espessas que as do ventrículo direito, pois impulsionam o sangue arterial para todo o corpo. As veias cavas trazem o sangue venoso do corpo para o átrio direito do coração. As paredes das artérias apresentam uma túnica muscular mais espessa que a da parede das veias, fato que auxilia o transporte do sangue rico em oxigênio para todo o corpo.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Interpretar modelos e experimentos para explicar fenômenos ou processos biológicos em qualquer nível de organização dos sistemas biológicos.

6. Uerj – Os capilares são os vasos sanguíneos que permitem, por difusão, as trocas de substâncias, como nutrientes, excretas e gases, entre o sangue e as células.

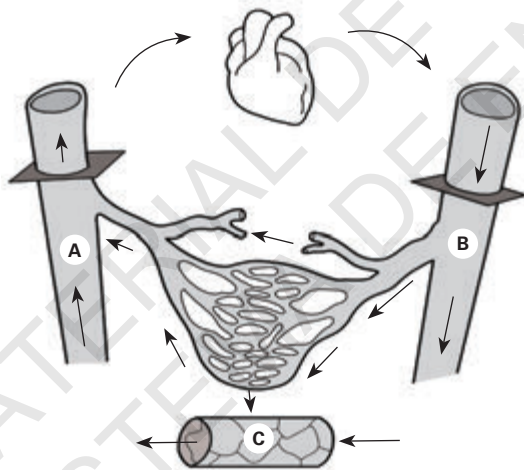
Essa troca de substâncias é favorecida pela seguinte característica dos capilares:

- a) Camada tecidual única.
- b) Presença de válvulas móveis.
- c) Túnica muscular desenvolvida.
- d) Capacidade de contração intensa.

As trocas entre os capilares sanguíneos e os tecidos ocorrem porque os capilares são formados por camada tecidual única. Ou seja, o endotélio é composto de uma camada de células.

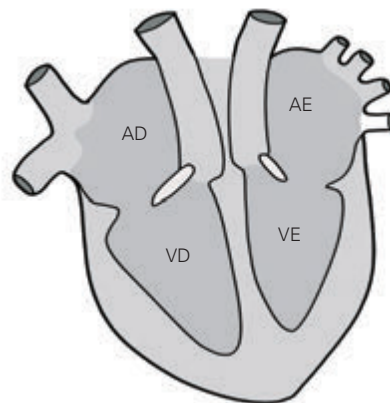
EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. Mackenzie-SP – No esquema, as setas indicam o sentido de circulação do sangue. Assinale a alternativa correta.



- a) Todos os vasos A apresentam, na sua parede, uma camada muscular mais reforçada do que os vasos B.
- b) Se os vasos C forem os dos pulmões, o vaso A será uma artéria, porque transporta sangue arterial vindo dos pulmões.
- c) A pressão do sangue no vaso A é menor que no vaso B.
- d) O vaso B apresenta inúmeras válvulas para impedir o refluxo do sangue.
- e) No vaso C, as substâncias somente passam para o meio externo, não sendo possível a passagem de substâncias para dentro do sangue nessa estrutura.

8. Faculdade Albert Einstein-SP – O esquema abaixo representa, de forma simplificada, o coração humano. Há grandes vasos que levam sangue dos órgãos e tecidos para o coração e outros que levam sangue desse órgão para outras partes do corpo.



No coração humano,

- a) a entrada de sangue rico em oxigênio se dá pelas veias cavas.
- b) a entrada de sangue pobre em oxigênio se dá pela artéria pulmonar.
- c) a saída de sangue rico em oxigênio se dá pela artéria aorta.
- d) a saída de sangue pobre em oxigênio se dá pelas veias pulmonares.

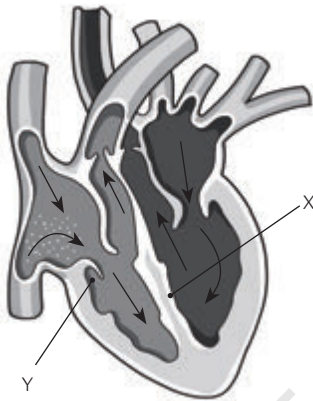
9. UTFPR – Em muitos animais, o sistema respiratório e o sistema circulatório apresentam relação funcional entre si. Em relação aos dois sistemas, considere as proposições a seguir.

- I. Hematose é a transformação do sangue venoso em arterial.
- II. O sangue que chega aos pulmões é sangue arterial e rico em oxigênio.
- III. A veia pulmonar transporta sangue venoso do pulmão ao coração.
- IV. A artéria pulmonar transporta sangue venoso até o pulmão.

Estão corretas apenas

- a) I e II. c) II e IV. e) I e IV.
b) II e III. d) III e IV.

10. Uninove-SP – A figura mostra uma representação do coração humano.



- a) Qual a importância da estrutura apontada pela seta Y? Qual cavidade cardíaca recebe sangue proveniente dos pulmões, por meio das veias pulmonares?

- b) Qual o nome da estrutura apontada pela seta X? Explique qual a sua importância para o metabolismo humano.

11. IFPE – A hipertensão arterial é um dos problemas que afeta o sistema cardiovascular. Entre as causas mais comuns desta doença é possível destacar alimentação inadequada, estresse e vida sedentária. Algo curioso sobre um dos medicamentos usados para o controle da hipertensão arterial, e que a maioria dos hipertensos não sabe, é que o captopril é desenvolvido a partir de uma substância encontrada no veneno da jararaca brasileira.

Sobre a hipertensão arterial e o sistema cardiovascular, podemos afirmar que

- a) as veias são vasos que transportam apenas sangue arterial rico em gás oxigênio.
- b) a pressão que o sangue exerce sobre as paredes das veias é denominada pressão arterial.
- c) na grande circulação, o sangue percorre um trajeto entre o coração – pulmão – coração.
- d) é considerada hipertensa a pessoa que apresenta uma pressão arterial de 120/80 mmHg.
- e) a artéria aorta é um vaso que transporta sangue arterial rico em gás oxigênio.

12. UFRN – O coração humano tem sido alvo de estudos da engenharia para a produção de dispositivos alternativos que ajudem a resolver as dificuldades decorrentes dos transplantes naturais. Embora existam hoje corações artificiais, nenhum deles substituiu o original à altura no seu funcionamento. Alguns detalhes mecânicos são fundamentais para o seu perfeito funcionamento. Assim, na construção de um protótipo mais parecido com o coração humano, é necessário considerar que

- a) as válvulas devem impedir o retorno do sangue dos ventrículos para os átrios.
- b) o lado direito deve possuir maior capacidade de bombeamento de sangue.
- c) o lado direito da bomba deve ter a capacidade de aspirar, e o esquerdo, de impelir o sangue.
- d) os conectores de entrada e saída devem ser 4, um para cada átrio e um para cada ventrículo.

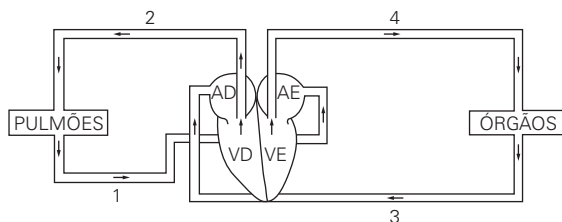
13. CPS-SP – Os filmes de ficção científica, além de distração, também possibilitam ilustrar conceitos e discutir vários temas dentro das Ciências. Entre esses filmes, destaca-se *Viagem Fantástica*, que, em meados dos anos sessenta, criou grande sensação devido aos seus admiráveis efeitos especiais.

O filme narra a história de um importante cientista, que está entre a vida e a morte, devido a um coágulo no cérebro. Um pequeno submarino com uma equipe médica a bordo é miniaturizado, isto é, reduzido a dimensões microscópicas, e injetado com uma seringa na veia jugular do pescoço do cientista. Após passar por vários órgãos e cumprir a missão com êxito, a equipe sai do organismo do cientista por meio de uma lágrima.

Pode-se afirmar que esse submarino, ao seguir o fluxo sanguíneo normal da veia citada no texto, será levado diretamente para

- a) o fígado.
- b) o coração.
- c) os pulmões.
- d) a artéria aorta.
- e) o globo ocular.

- 14. Mackenzie-SP** – O esquema abaixo mostra, de forma simplificada, o caminho do sangue no corpo humano, indicado por setas. As câmaras cardíacas estão legendadas por AD (átrio direito), AE (átrio esquerdo), VD (ventrículo direito) e VE (ventrículo esquerdo) e os principais vasos sanguíneos estão numerados de 1 a 4.



A artéria aorta e as veias cavas estão representadas, respectivamente, pelos números

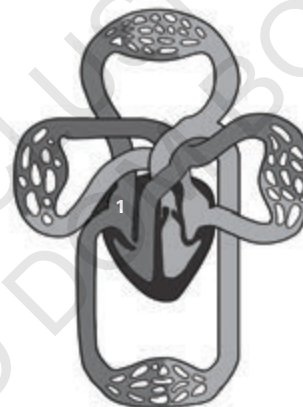
- a) 2 e 1. c) 4 e 2. e) 1 e 3.
b) 4 e 3. d) 2 e 3.

- 15. UEPG-PR** – Além de transportar alimentos, gases, excreções e hormônios, a circulação sanguínea tem ainda função de defesa contra agentes infecciosos e manutenção da temperatura corporal. Assinale o que for correto sobre os componentes e características do sistema cardiovascular.

- 01)** As paredes do coração humano são constituídas por tecido muscular estriado cardíaco (miocárdio). O coração apresenta duas câmaras superiores, denominadas de átrios cardíacos, e duas inferiores, os ventrículos cardíacos.
- 02)** O átrio cardíaco esquerdo recebe sangue rico em gás oxigênio proveniente dos pulmões, enquanto o átrio cardíaco direito recebe sangue rico em gás carbônico, proveniente do resto do corpo.
- 04)** O sistema cardiovascular humano é fechado, com circulação dupla: (i) circulação pulmonar ou pequena circulação (trajeto: coração – pulmões – coração); e (iii) circulação sistêmica ou grande circulação (trajeto: coração – sistemas corporais – coração).
- 08)** O relaxamento de uma câmara cardíaca, chamado de diástole, é quando a câmara se enche de sangue; já na sístole, a câmara se contrai e ocorre o bombeamento de sangue para fora do coração.
- 16)** Quando o sangue é bombeado pelos ventrículos, ele penetra nas artérias sob alta pressão, as paredes arteriais então relaxam-se e aumentam de volume, diminuindo a pressão em seu interior. Caso não haja este relaxamento das artérias, a pressão sanguínea pode subir, com risco de ruptura de suas paredes.

- 16. Uema** – A velocidade de circulação do sangue nos vasos varia dependendo do seu diâmetro. Quanto maior o diâmetro e mais próximo do coração, menor será a velocidade de circulação de sangue por ele, como no caso da aorta. De outra forma, quanto menor o diâmetro e mais longe do coração, maior será a velocidade de circulação do sangue. Com base no texto, justifique a taxa alta de mortalidade em indivíduos com rompimento da aorta.

- 17. Fepar-SC (adaptada)** – A imagem a seguir apresenta um esquema ilustrativo da circulação humana. Observe-a atentamente e faça o que se pede.



- a) Levando em consideração que não ocorre perfusão do sangue para as paredes das cavidades cardíacas, explique como ocorre a nutrição e a oxigenação adequada do miocárdio.

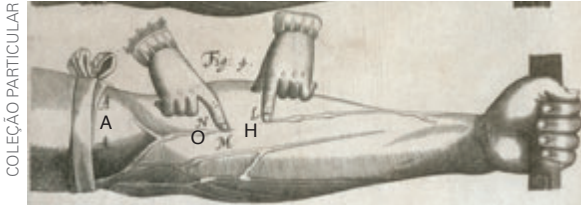
- b) Como o coração impede o fluxo de sangue das cavidades inferiores para as superiores?

ESTUDO PARA O ENEM

18. Enem

C4-H15

A imagem representa uma ilustração retirada do livro *De Motu Cordis*, de autoria do médico inglês William Harvey, que fez importantes contribuições para o entendimento do processo de circulação do sangue no corpo humano. No experimento ilustrado, Harvey, após aplicar um torniquete (A) no braço de um voluntário e esperar alguns vasos incharem, pressionava-os em um ponto (H). Mantendo o ponto pressionado, deslocava o conteúdo de sangue em direção ao cotovelo, percebendo que um trecho do vaso sanguíneo permanecia vazio após esse processo (H-O).



A demonstração de Harvey permite estabelecer a relação entre circulação sanguínea e

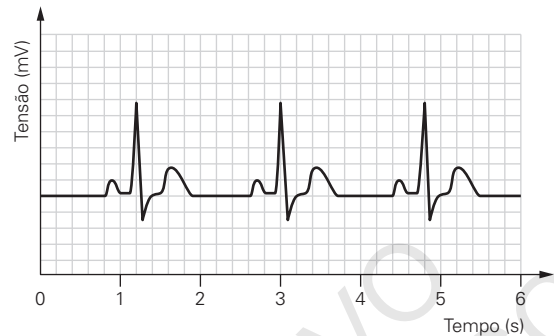
- a) pressão arterial.
- b) válvulas venosas.
- c) circulação linfática.
- d) contração cardíaca.
- e) transporte de gases.

19. Enem

C4-H15

O eletrocardiograma, exame utilizado para avaliar o estado do coração de um paciente, trata-se do registro da atividade elétrica do coração ao longo de um certo intervalo de tempo. A figura representa o eletrocardiograma de um paciente adulto, descansado, não fumante, em um ambiente com temperatura agradável.

Nessas condições, é considerado normal um ritmo cardíaco entre 60 a 100 batimentos por minuto.



Com base no eletrocardiograma apresentado, identifique-se que a frequência cardíaca do paciente é

- a) normal.
- b) acima do valor ideal.
- c) abaixo do valor ideal.
- d) próxima do limite inferior.
- e) próxima do limite superior.

20. Sistema Dom Bosco

C4-H13

As varizes são formadas pelo acúmulo de sangue nas veias superficiais das pernas. Causam desde incômodos estéticos até edema, alterações na coloração da pele, desconforto e dor.

Elas são provocadas pelo mau funcionamento das válvulas venais, responsáveis por

- a) impedir o refluxo do sangue.
- b) acelerar as contrações sistêmicas.
- c) diminuir a frequência cardíaca.
- d) aumentar a frequência cardíaca.
- e) causar espasmos cardíacos.

JOVANMANDIC / ISTOCK



MATERIAL DE USO EXCLUSIVO DO BOSCO
SISTEMA DE ENSINO

BIOLOGIA 3B

CIÊNCIAS DA NATUREZA E SUAS TECNOLOGIAS

20

SISTEMA URINÁRIO

- Sistema urinário humano
- Controle da função renal
- Formação da urina

HABILIDADES

- Identificar as estruturas e as funções do sistema urinário.
- Compreender o processo de formação da urina e os mecanismos hormonais que controlam essa produção.

A urina humana é um líquido formado e eliminado pelo sistema urinário. É composta de água, ureia e outras substâncias dispensáveis ao organismo, como fosfatos, sulfatos, amônia e ácido úrico. A quantidade de urina eliminada por dia depende de diversos fatores, como a quantidade de líquidos ingerida, a atuação hormonal, o uso de anti-diuréticos etc. Em média, uma pessoa adulta saudável produz de 1 L a 1,5 L de urina por dia.

A cor amarelada da urina é resultado da presença de uroglóbina, substância originada principalmente da degradação da hemoglobina de hemácias velhas. Outras cores e tonalidades podem ocorrer conforme a hidratação do indivíduo e a ingestão de medicamentos, alimentos com pigmentos (beterraba, cenoura, entre outros). A coloração da urina também pode indicar a manifestação de certas doenças.

Cores que divergem do normal, como marrom ou azul, podem ser sintomas de alguns distúrbios renais ou da ação de medicamentos. No entanto, o diagnóstico adequado deve ser realizado somente por um médico.



Urina humana de coloração normal coletada para exame clínico.

Sistema urinário humano

Para realizar todas as funções metabólicas, nosso organismo tem uma concentração de solutos muito diferente da encontrada no ambiente. Tal concentração é mantida pela **osmorregulação**, que é o processo que regula a quantidade de água no interior do organismo. O sistema urinário humano também é responsável por controlar a concentração de sais no sangue (Na^+ , K^+ , Cl^- , entre outros) e por eliminar a ureia produzida no fígado, de modo a impedir que essas substâncias nocivas atinjam níveis elevados no sangue.

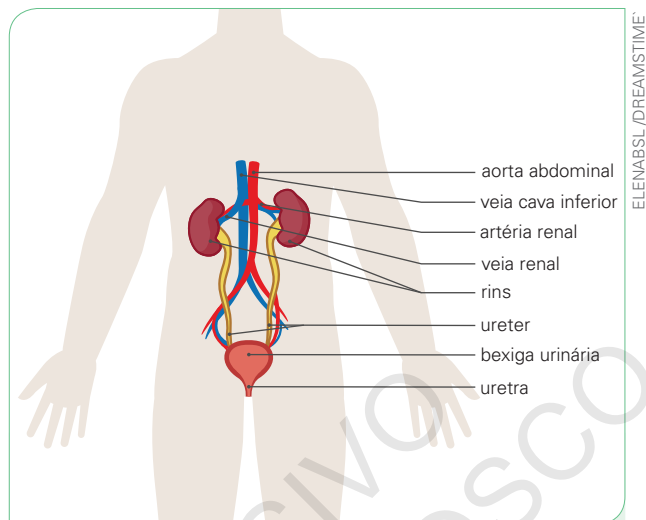
O sistema urinário é formado por dois rins e por vias uriníferas, constituídas por dois ureteres, a **bexiga urinária** e a **uretra**. O formato dos rins humanos lembra grãos de feijão. Situados na cavidade abdominal (altura da cintura), atrás do estômago e do fígado, os rins são revestidos externamente por uma cápsula de tecido conectivo. São formados por duas camadas: uma cortical (ou córtex renal – mais externa) e uma medular (ou medula renal – mais interna).

Na camada cortical, estão os **glomérulos** – unidades filtradoras do sangue. Pela camada medular, passam os túbulos dos néfrons, pelos quais circula o líquido filtrado nos glomérulos.

A unidade funcional dos rins é o **néfron**. Ele é constituído por:

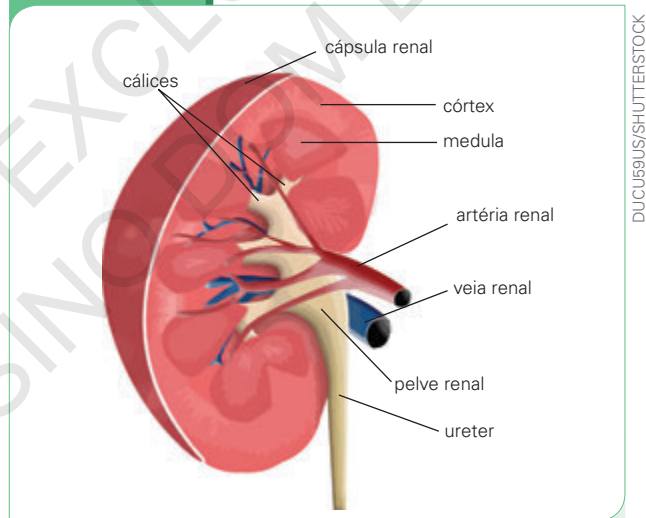
- **corpúsculo renal**, que é a porção globular na qual o sangue é filtrado. Localizado no córtex renal, constitui-se de **cápsula glomerular** ou cápsula de Bowman – um revestimento externo – e **glomérulo renal**, ou túbulo de Malpighi – um aglomerado de capilares delgados e enovelados.
- **túbulo néfrico**, porção tubular na qual se forma a urina. Subdivide-se em quatro regiões contínuas distintas: túbulo contorcido proximal, alça néfrica (antes chamada de Henle), túbulo contorcido distal, tubos e ductos coletores.

Em cada rim humano, existem aproximadamente 1 milhão de néfrons. Cada néfron é abastecido de sangue por uma arteríola aferente, a qual é um desdobramento da artéria renal, que se ramifica e forma os capilares do glomérulo. Os capilares convergem à medida que deixam o glomérulo e formam uma arteríola eferente. As ramificações desses vasos formam os capilares peritubulares, que circundam os túbulos proximal e distal. Outras ramificações prolongam-se para baixo e formam os vasos retos, capilares em forma de grampo que servem a medula renal, incluindo a longa alça néfrica.



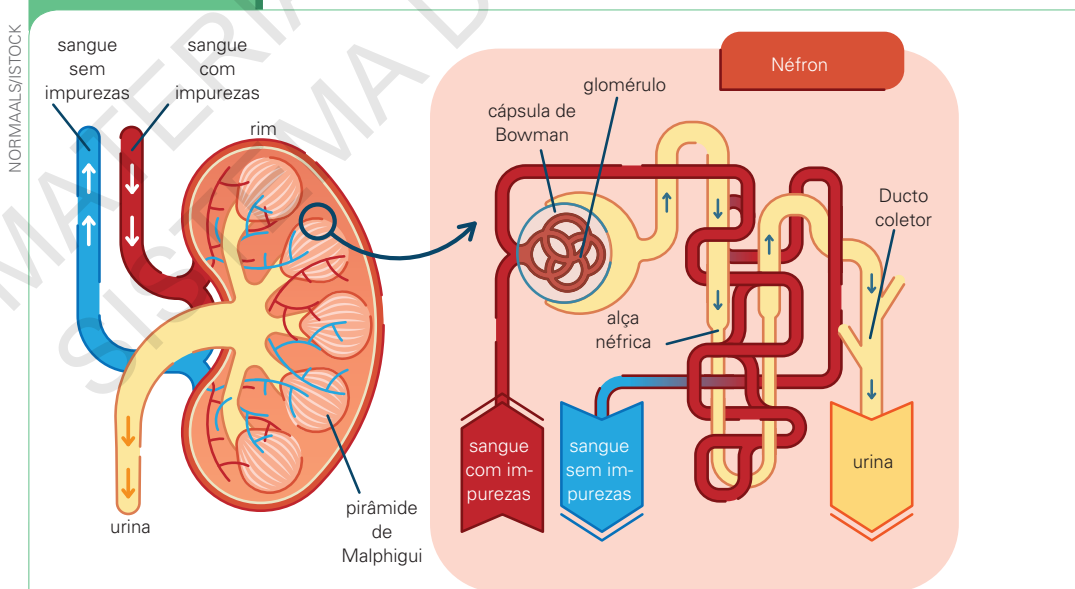
Esquema do sistema urinário. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Anatomia do rim



Esquema ilustrado da anatomia do rim humano. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Anatomia do néfron



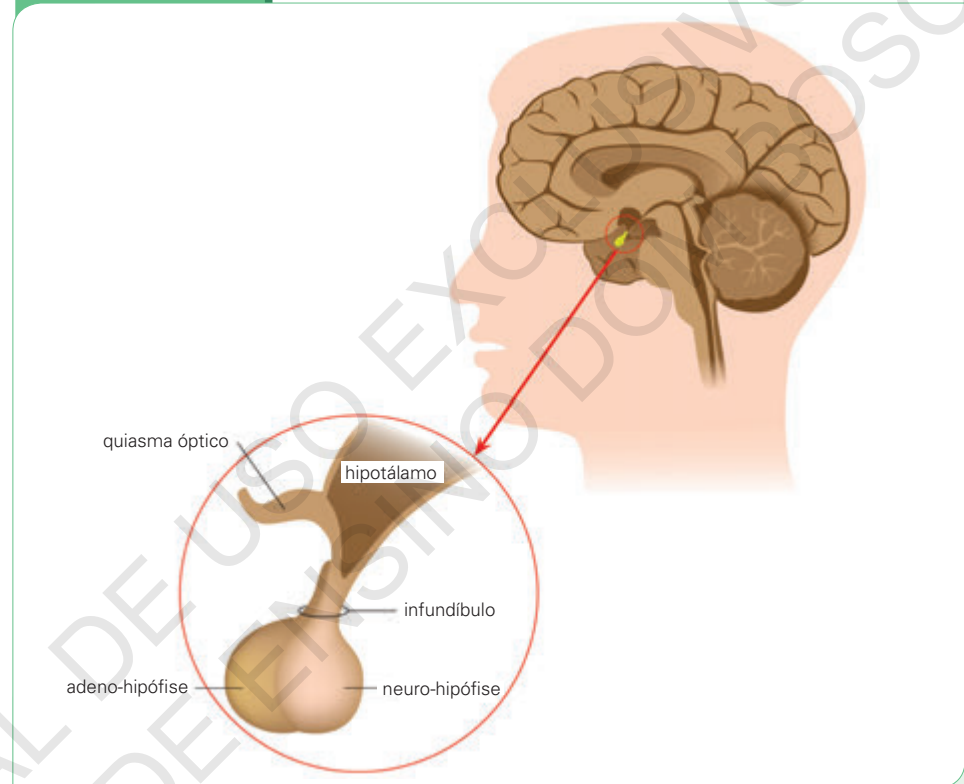
Esquema ilustrando a morfologia do néfron humano. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Controle da função renal

O funcionamento do controle renal acontece pela combinação dos controles nervosos e hormonais. Ao regular a quantidade de urina formada, essa ação conjunta contribui para a homeostase da pressão e do volume do sangue.

Em um adulto normal, a perda urinária é de, aproximadamente, 1L a 1,5 L de urina por dia, embora o volume total de água do corpo não varie mais do que 1%. Os ajustes que determinam o equilíbrio hídrico dependem principalmente do **hipotálamo**, região do encéfalo sensível às variações da concentração de partículas do plasma sanguíneo. A ação do hipotálamo está diretamente associada à liberação do hormônio antidiurético (ADH) na circulação, por meio da glândula hipófise, mais especificamente pela **neuro-hipófise**.

Hipotálamo e hipófise

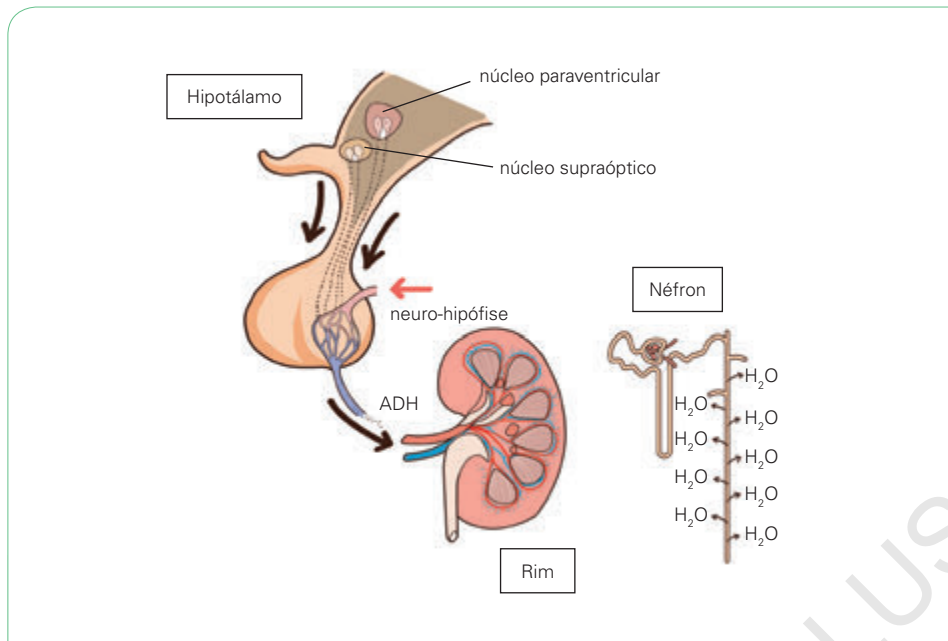


Localização das glândulas hipófise e hipotálamo. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

O **ADH** aumenta a permeabilidade dos túbulos dos néfrons à água, de modo a ampliar consideravelmente sua **reabsorção**. Dessa forma, o rim aumenta a reabsorção de líquidos e passa a produzir urina muito mais concentrada e menos volumosa. Portanto, o ADH é um hormônio **poupador** de água, secretado quando a concentração de partículas do plasma está elevada, evitando a deficiência hídrica.

Uma pessoa submetida à privação de água perde esse líquido através da pele e por meio da respiração, o que torna o plasma mais concentrado. O hipotálamo, sensível a essa variação, aumenta a produção de ADH, tornando a urina escassa e muito concentrada. A queda acentuada na pressão arterial por ocorrência de uma hemorragia maciça, por exemplo, também estimula a produção de ADH, o que auxilia a retenção de água no corpo e a manutenção do volume de líquido circulante.

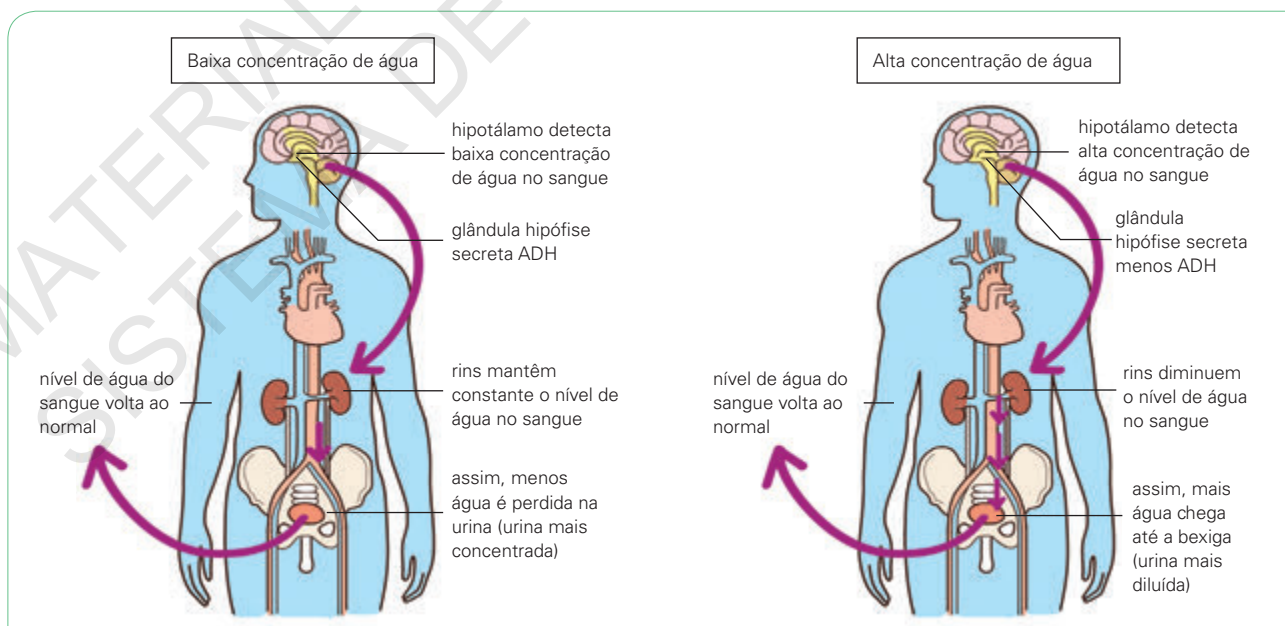
Por outro lado, se houver excedente hídrico, a secreção de ADH diminui. Consequentemente, o rim tem sua capacidade de reabsorção de água reduzida e libera grandes volumes de urina bastante diluída. O álcool tem ação antagônica ao ADH, o que diminui a absorção de água e aumenta o volume da urina. Assim, bebidas alcólicas têm ação diurética, o que explica a sede intensa que caracteriza a sensação desagradável de ressaca. Pessoas com diabetes insípido têm baixo ADH e, por isso, podem perder até 15 L de urina por dia.



Mecanismo de ação do ADH na absorção de água pelos rins. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

A **aldosterona** é um hormônio secretado pelo córtex das glândulas suprarrenais ou adrenais, o qual estimula a reabsorção de íon de sódio (Na^+) pelos túbulos renais. Dessa forma, ocorre maior reabsorção de água. Conseqüentemente, a pressão arterial se eleva. Quando a concentração sanguínea de sódio diminui, a aldosterona regula a reabsorção desse íon e aumenta a reabsorção de água por osmose. Assim, a ação desse hormônio regula a produção de urina.

O hormônio **fator natriurético atrial (FNA)** é secretado pela parede dos átrios cardíacos quando a pressão do sangue está elevada. Entre outros efeitos, o FNA dilata a arteríola aferente e contrai a arteríola eferente, o que faz crescer a pressão do sangue nos capilares dos glomérulos. Com isso, aumentam-se a filtração glomerular e a eliminação de urina. Isso determina a diminuição da pressão arterial. O FNA também aumenta a eliminação urinária do cloreto de sódio (NaCl), o que contribui para diminuir a pressão arterial.



Esquema simplificado da ação do controle hormonal do ADH na concentração de água na urina. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Além dos hormônios citados anteriormente, o volume de líquido ingerido, a variação da temperatura e a umidade do ar influenciam na produção da urina. Em climas quentes e secos, há maior transpiração, logo, o volume de urina produzida será menor que em climas frios e úmidos.

Formação da urina

A urina se forma no interior dos néfrons, em três processos consecutivos: filtração glomerular, reabsorção tubular e secreção tubular.

1ª etapa: filtração glomerular

O sangue a ser filtrado, proveniente das artérias renais, chega ao néfron pelas arteríolas aferentes. Ao passar sob alta pressão pelos capilares do glomérulo, perde para a cápsula renal água e pequenas moléculas dissolvidas no plasma (como ureia, sais e moléculas orgânicas simples).

As proteínas presentes no plasma e os elementos figurados do sangue, por serem moléculas muito grandes, não atravessam a parede dos capilares do glomérulo. No restante, todas as substâncias presentes no plasma são encontradas no fluido filtrado que se formou, conhecido como filtrado glomerular ou urina inicial, que se concentra no interior da cápsula renal. Moléculas de pequeno tamanho dissolvidas em água, tais como glicose, sais, aminoácidos e ureia, constituem o fluido envolvido no processo de filtração glomerular.

2ª etapa: reabsorção

O filtrado glomerular tem composição química muito semelhante à do plasma sanguíneo. Até se transformar em urina, o filtrado glomerular passa por modificações durante sua passagem pelos **túbulos renais**, processo que envolve o túbulo contorcido proximal, a alça néfrica, o túbulo contorcido distal e o ducto coletor. Em 24 horas, cerca de 180 litros de filtrado glomerular e apenas 1 L a 1,5 L de urina são produzidos. Aproximadamente 99% do líquido filtrado é reabsorvido, à medida que ele segue pelos túbulos renais. Água, sais, glicose, aminoácidos e outras substâncias reabsorvidas voltam à circulação.

Esse é um processo ativo pelo qual a rede de capilares recolhe partículas do líquido filtrado e as devolve à corrente sanguínea. Há reabsorção quase total de certos solutos, como glicose, aminoácidos e outras substâncias úteis para o organismo, principalmente no túbulo contorcido proximal. Com a reabsorção dessas substâncias, o sangue fica mais concentrado. Torna-se necessária, assim, a reabsorção de água para regular sua osmolaridade. A água é reabsorvida principalmente na alça néfrica e no ducto coletor – por osmose, um processo passivo de reabsorção tubular.

3ª etapa: secreção

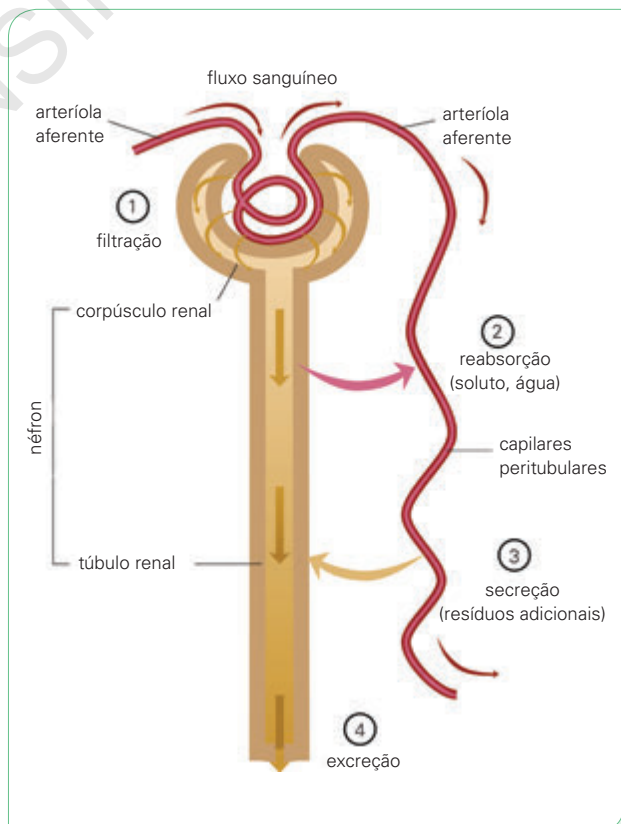
Podemos entender a etapa de secreção como complementar à da formação de urina. Nesse processo, as células da parede do túbulo contorcido distal secretam as substâncias indesejáveis, como ácido úrico e amônia, etapa considerada inversa à da reabsorção tubular.

Após passar pelo **túbulo do néfron**, o filtrado glomerular transforma-se em urina – líquido de cor amarelada que contém, principalmente, ureia, creatinina e pequenas quantidades de amônia, ácido úrico e sais.

Creatinina é uma substância derivada da degradação da creatina fosforilada (produzida por fígado, rins e pâncreas e transportada aos músculos). Tal processo ocorre durante a atividade de contração muscular. Filtrada livremente nos rins, a creatinina não sofre reabsorção renal.

A urina é a soma do conteúdo filtrado nos glomérulos e o conteúdo secretado pelos túbulos, menos o conteúdo reabsorvido.

$$\text{Urina} = \text{Conteúdo filtrado} + \text{Conteúdo secretado} - \text{Conteúdo reabsorvido}$$



As principais etapas de formação da urina. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

LEITURA COMPLEMENTAR**O que é hemodiálise?**

Trata-se de um procedimento médico realizado em hospitais, por meio do qual uma máquina faz a limpeza e a filtragem do sangue. Ou seja, o aparelho atua como um rim artificial em pacientes com insuficiência renal grave. A indicação para o procedimento é feita por um médico nefrologista (especialista nas funções renais).

O paciente, na hemodiálise, é submetido a um acesso vascular, em que seu sangue é bombeado até o dialisador (filtro de diálise). Neste, o sangue entra em contato com uma solução (dialisato), a qual, por meio de uma membrana semipermeável, filtra toxinas e resíduos do sangue, que retorna limpo ao paciente via acesso vascular. De maneira geral, os pacientes são submetidos à diálise de 3 a 5 horas, de 2 a 4 vezes por semana.

Na maioria dos casos, a insuficiência renal é irreversível. Isso torna o paciente dependente da diálise por toda a vida. No entanto, a melhora dos sintomas (falta de apetite, indisposição, cansaço, náuseas etc.) e da qualidade de vida do paciente é sentida desde o início do tratamento.

Mesmo sendo um procedimento eficiente, a hemodiálise não substitui por completo a função renal, porque os rins têm diversos outros papéis além da filtragem sanguínea. Eles agem, por exemplo, no controle osmótico e de sais no organismo, na regulação da pressão arterial e na síntese de hormônios. Portanto, o paciente com insuficiência renal, mesmo submetido à hemodiálise, precisa seguir à risca o tratamento completo, que inclui dieta alimentar, para que não haja sobrecarga ainda maior do sistema renal.



PICSFIVE/ISTOCK

Paciente em hospital fazendo hemodiálise.

ROTEIRO DE AULA

SISTEMA URINÁRIO HUMANO

componentes

2 rins

2 ureteres

vias uriníferas

bexiga

uretra

unidade funcional

néfron

túbulo néfrico

porção tubular

porção globular

corpúsculo renal

componentes

túbulo contorcido proximal

revestido

alça néfrica

túbulo de Malpighi

túbulo contorcido distal

cápsula de Bowman

tubos e ductos coletores

formação da urina

controle

etapas

hipotálamo

sistema nervoso central

filtração

ADH

hormonal

reabsorção

fator natriurético atrial

secreção

aldosterona

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. UFP-RS – No sistema urinário do corpo humano, são _____ que realizam a filtração do sangue. O processo de eliminação de urina acontece em duas etapas: primeiro a urina trazida _____ acumula-se _____; depois, ocorre a micção, com a eliminação da urina através _____.

As informações que completam corretamente os espaços estão na alternativa:

- a) os rins/ pela uretra/ na bexiga/ dos ureteres
- b) os arteríolos/ pelos ureteres/ na bexiga/ da uretra
- c) os rins/ pelas veias/ na bexiga/ dos ureteres
- d) os ureteres/ pela uretra/ na bexiga/ das arteríolas
- e) os rins/ pelos ureteres/ na bexiga/ da uretra**

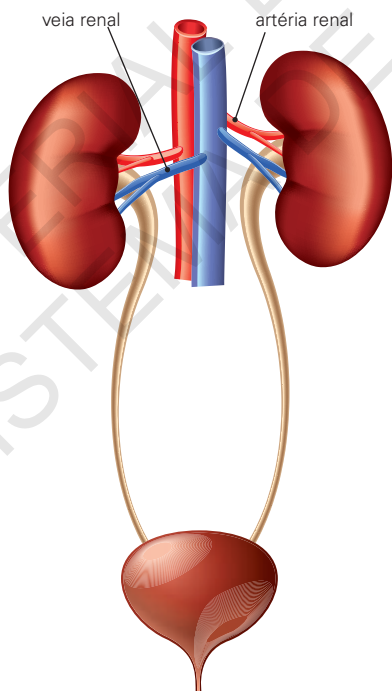
São os néfrons, presentes nos rins, que realizam a filtração do sangue. A urina trazida pelos ureteres acumula-se na bexiga para ser eliminada pela uretra no processo chamado micção.

2. Uece – Os rins desempenham a principal função do sistema urinário. No que diz respeito às funções renais, é incorreto afirmar que os rins

- a) ajustam o volume do sangue através da conservação ou eliminação da água na urina.
- b) regulam os níveis sanguíneos de vários ânions como sódio (Na^+), potássio (K^+) e cálcio (Ca^{2+}).**
- c) excretam uma quantidade variável de íons hidrogênio para a urina e preservam os íons bicarbonato ajudando a regular o pH do sangue.
- d) ajudam a excretar escórias metabólicas, substâncias sem função útil do corpo, por meio da formação da urina.

Os íons sódio, potássio e cálcio são cátions.

3. Famema-SP (adaptada) – A figura ilustra os rins e seus próprios vasos sanguíneos. As artérias renais levam sangue aos rins e as veias renais conduzem o sangue dos rins ao coração.



LA GORDA/SHUTTERSTOCK

- a) Associe a concentração de gás carbônico, ureia e gás oxigênio com o sangue contido nas artérias renais e com o sangue contido nas veias renais.

O sangue contido nas artérias renais é pobre em dióxido de carbono e

rico em ureia e oxigênio. Ao contrário, o sangue contido na veia renal é

rico em dióxido de carbono e pobre em ureia e oxigênio.

- b) Caso haja aumento da pressão sanguínea na artéria renal durante um período de 4 horas, o que ocorrerá com o volume de urina produzido pelo organismo? Justifique sua resposta com base na atividade que ocorre no interior do néfron.

O aumento de pressão arterial provoca elevação do volume de urina

produzida pelo organismo, porque nos néfrons haverá aumento no pro-

cesso de filtração glomerular que produz a urina inicial.

4. PUC-SP – Terminado o percurso pelo néfron, o filtrado glomerular é agora denominado urina, que, em uma pessoa saudável, deverá conter, entre outros componentes,

- a) água, ureia, proteínas e sais.
- b) água, ácido úrico, proteínas e sais.
- c) água, ureia, amônia e sais.**
- d) ureia, glicose, ácido úrico e amônia.
- e) ureia, glicose, proteínas e amônia.

O principal componente da urina é a água. Em pessoas saudáveis, não é esperada a presença de proteínas e glicose na urina.

5. IFPE

C4H14

Se você tiver uma falência do coração, dos pulmões ou do fígado, a sua única chance de sobreviver é através de um transplante de órgãos, o que não é uma solução simples nem facilmente disponível. Por outro lado, se os seus rins entrarem em falência, você pode ser submetido ao tratamento com hemodiálise, o que lhe permitirá viver e ser produtivo por muitos anos. Portanto, é fácil entender por que a hemodiálise (HD) é um dos maiores avanços da medicina. Os rins são os únicos órgãos nobres que podem ser substituídos, ainda que não perfeitamente, por uma máquina.

PINHEIRO, P. Hemodiálise - O que é, para que serve e como se faz. Disponível em: <<http://www.mdsauade.com/2008/11/hemodialise-partes-i-entenda-como.html>>. Acesso 10 maio 2017.

O sistema urinário é composto pelos rins e pelas vias urinárias. Podemos afirmar que os órgãos que fazem parte das vias urinárias são

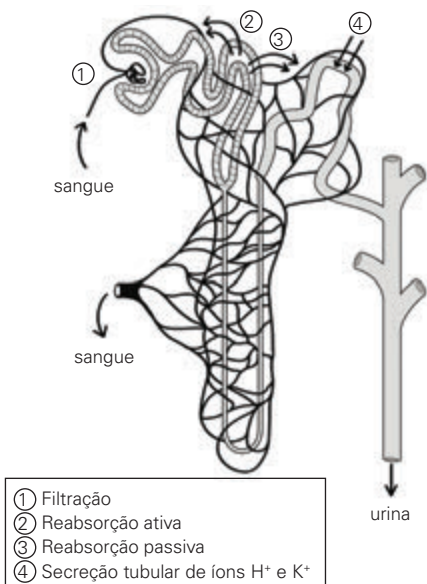
- a) ovário, bexiga e ureteres.
- b) bexiga, tubas uterinas e uretra.
- c) testículos, bexiga e uretra.
- d) ureteres, bexiga e uretra.**
- e) ureteres, próstata e uretra.

O sistema excretor é composto de: dois rins (que filtram o sangue para eliminar substâncias nocivas ao organismo); dois ureteres (dois canais que partem de cada rim e levam a urina produzida – excretas – até a bexiga); uma bexiga (bolsa muscular elástica que armazena a urina); uma uretra (canal que elimina a urina do organismo).

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Identificar padrões em fenômenos e processos vitais dos organismos, como manutenção do equilíbrio interno, defesa, relações com o ambiente, sexualidade, entre outros.

6. Fuvest-SP – Logo após a realização de provas esportivas, parte da rotina dos atletas inclui a ingestão de água e de bebidas isotônicas; também é feita a coleta de urina para exames *antidoping*, em que são detectados medicamentos e drogas, eventualmente ingeridos, que o corpo descarta. As bebidas isotônicas contêm água, glicose e sais minerais, apresentando concentração iônica semelhante à encontrada no sangue humano. No esquema abaixo, os números de 1 a 4 indicam processos, que ocorrem em um néfron do rim humano.



a) Qual(is) número(s) indica(m) processo(s) pelo(s) qual(s) passa água?

1 e 3.

b) Qual(is) número(s) indica(m) processo(s) pelo(s) qual(is) passam as substâncias dissolvidas, detectáveis no exame *antidoping*?

1 e 4.

c) Após uma corrida, um atleta, em boas condições de saúde, eliminou muito suor e muita urina e, depois, ingeriu bebida isotônica. Entre os componentes da bebida isotônica, qual(is) **não** será(ão) utilizado(s) para repor perdas de substâncias eliminadas pela urina e pelo suor? Justifique sua resposta.

Os monossacarídeos consumidos pelo atleta durante a corrida não são

eliminados pela urina ou pelo suor. Os açúcares são oxidados com a

finalidade de fornecer energia ao corredor.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. FMP-RJ (adaptada) – Os rins podem excretar grande quantidade de urina diluída ou pequeno volume de urina concentrada sem grandes alterações nas excreções de solutos, como sódio e potássio. As ações do hormônio antidiurético (ADH) têm papel fundamental no controle do grau de diluição ou concentração da urina. A secreção de ADH pode ser aumentada ou diminuída por estímulo no sistema nervoso central, bem como por diversos fármacos e hormônios.

A liberação de ADH é estimulada pelo

- consumo de álcool.
- aumento do volume de sangue.
- vômito seguido de náusea.
- aumento da pressão sanguínea.
- decréscimo da osmolaridade plasmática.

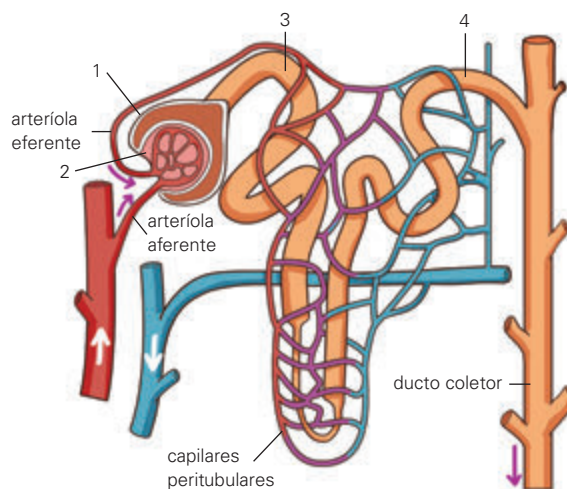
8. Uerj – Em um experimento em que se mediu a concentração de glicose no sangue, no filtrado glomerular e na urina de um mesmo paciente, os seguintes resultados foram encontrados:

Líquido biológico	Concentração de glicose (mg/dL)
Sangue	140
Filtrado glomerular	120
Urina	0,12

Esses resultados mostram que as células epiteliais dos túbulos renais do paciente estavam reabsorvendo a glicose pelo mecanismo denominado

- difusão passiva.
- transporte ativo.
- difusão facilitada.
- transporte osmótico.

9. Fepar-PR – A figura a seguir representa o esquema de um néfron.



Avalie as afirmativas sobre a função renal.

- () O HAD ou ADH, produzido nas suprarrenais, vai atuar sobre a estrutura 1.
- () A aldosterona secretada pela hipófise estimula a absorção de água nas estruturas 3 e 4, aumentando a pressão osmótica do sangue e promovendo um aumento da pressão arterial.
- () As estruturas 1, 3 e 4 localizam-se na região cortical dos rins; a estrutura 5 localiza-se na região medular.
- () A água, a glicose e os aminoácidos presentes no filtrado glomerular serão absorvidos no túbulo contorcido proximal, indicado pelo número 3.
- () O fator natriurético atrial, produzido no coração, é liberado quando a pressão sanguínea está baixa. Age diminuindo a taxa de filtração glomerular e a excreção de Na^+ , aumentando a pressão arterial.

10. PUC-SP (adaptada) – A prática de esportes promove modificações orgânicas significativas no corpo dos atletas, o que leva à necessidade de ajustes metabólicos e fisiológicos que atendam à grande demanda por energia e permitam a rápida remoção de metabólitos desnecessários. O organismo de um atleta que apresenta bom condicionamento físico realiza tais ajustes de modo eficiente, mesmo em condições de esforço intenso, como no caso das longas provas de maratona.

As alterações nas concentrações sanguíneas de lipídios apresentadas na tabela abaixo são condizentes com vários outros estudos que apontam os efeitos benéficos do exercício físico na prevenção de doenças cardiovasculares, especialmente o infarto do miocárdio.

Um estudo realizado com maratonistas revelou substâncias bioquímicas decorrentes do esforço. Neste estudo, foi solicitado a vinte maratonistas de sexo masculino que percorressem os 21 km equivalentes a uma meia maratona. Amostras de sangue e urina desses atletas foram coletadas antes e depois da prova, a partir das quais foram medidos parâmetros bioquímicos. Alguns resultados estão dispostos na tabela a seguir.

Tipos de amostra	Parâmetros bioquímicos	Antes da prova (valores médios)	Após a prova (valores médios)
SANGUE	Triglicerídeos (mg/dL)	86	69
	Colesterol LDL (mg/dL)	155	110
	Colesterol HDL (mg/dL)	43	47
	Ácido úrico sanguíneo (mg/dL)	5	3,5
URINA	Ácido úrico urinário (mg/mg de creatinina)	0,3	0,6
	Aspecto/ turbidez da urina*	0,0	1,0

Dados obtidos a partir de Siqueira e cols. (2009). Análise de parâmetros bioquímicos séricos e urinários em atletas de meia maratona. *Arq. Bras Endocrinol Metab.* 53(7): 844-52.

Explique o mecanismo fisiológico responsável pela variação na concentração (turbidez) da urina nos atletas durante a prova de meia maratona mencionada no texto. Considere, em sua resposta, a intensa sudorese dos atletas ocorrida durante a prova e a ação do hormônio ADH.

11. PUC-PR – Leia o fragmento de texto a seguir:

A IAAF (Federação Internacional de Atletismo) irá abandonar a sua política de examinar amostras de sangue de todos os atletas no próximo Mundial de Atletismo, a ser disputado em Pequim, na China, entre os dias 22 e 30 de agosto. A informação é do jornal britânico “The Guardian”.

De acordo com a associação, um sistema aprimorado será introduzido para examinar a amostra de sangue dos competidores de elite, apesar de manter a obrigatoriedade do teste de urina para todos os participantes. Nos Mundiais anteriores – Daegu, em 2011, e Moscou, em 2013, todos os atletas precisaram fornecer uma amostra de sangue. Por isso, a decisão de reduzir a escala dos exames *antidoping* surpreendeu aos atletas, principalmente por acontecer em um momento em que há denúncias de violação de regras de controle. Para a federação, não se trata de suavizar o combate ao uso de substâncias proibidas.

Disponível em: <<http://www.bemparana.com.br/noticia/401354/federacao-teste-de-sangue-a-elite-em-mundial>>.
Acesso em: mar. 2019.

Se for usado um diurético como *doping*, provavelmente, sua utilização teria o intuito de favorecer a perda de peso ou de mascarar a presença de outras substâncias.

A ação de um diurético poderia estar relacionada à(ao)

- a) ampliação da eliminação de água pelos túbulos proximais do rim.
- b) diminuição da ação do hormônio ADH.
- c) aumento da pressão arterial por retenção de minerais.
- d) aumento da função da alça néfrica.
- e) diminuição da reabsorção que ocorre na bexiga urinária.

12. UCMG – O filtrado glomerular percorrerá, sequencialmente, no néfron, os seguintes componentes:

- a) Cápsula de Bowman, túbulo contorcido proximal, alça de Henle, túbulo contorcido distal.
- b) Cápsula de Bowman, túbulo contorcido proximal, túbulo coletor, alça de Henle.
- c) Glomérulo, alça de Henle, túbulo contorcido proximal, túbulo coletor.
- d) Glomérulo, túbulo coletor, alça de Henle, túbulo contorcido proximal.
- e) Túbulo contorcido proximal, cápsula de Bowman, alça de Henle, túbulo contorcido distal.

13. UEM-PR – Sobre a estrutura e o funcionamento do sistema excretor humano, é correto afirmar que

- 01) a unidade funcional do rim é o néfron, que se apresenta envolvido por uma extensa rede de capilares sanguíneos.
- 02) em condições normais, a urina é composta por água, amônia, glicose e sais.
- 04) na medida em que o filtrado glomerular percorre o túbulo proximal, ocorre a reabsorção de algumas substâncias, como glicose, aminoácidos e vitaminas, que voltam para a corrente sanguínea.
- 08) elimina excretas nitrogenadas e mantém o equilíbrio hidrossalino do organismo.
- 16) uma pessoa, com dieta balanceada, passará a excretar maior quantidade de ureia se aumentar em sua dieta a quantidade de proteínas.

14. Famerp-SP – Os rins humanos atuam no controle da homeostase, eliminando ou reabsorvendo substâncias nos néfrons.

- a) A principal substância excretada pelos néfrons é a ureia. De qual composto orgânico contido nos alimentos a ureia é originada? Qual órgão humano produz a ureia?

-
- b) Os rins controlam a volemia (volume de sangue) e o equilíbrio ácido-base do sangue. De que forma os néfrons atuam para aumentar a volemia e para reduzir a acidose sanguínea?
-

15. Unicamp-SP

Seca faz cidades do interior de São Paulo decretarem emergência

A falta de água enfrentada pelo Sudeste do país tem feito cada vez mais cidades de São Paulo e de Minas Gerais adotarem o racionamento, para reduzir o consumo de água, ou decretarem estado de emergência. Além do desabastecimento, a seca tem prejudicado setores como a agricultura, a indústria, a saúde e o turismo dessas cidades.

Adaptado de: <<http://noticias.uol.com.br/ultimas-noticias/agencia-estado/2014/07/07/seca-faz-cidades-do-interior-decretarem-emergencia.htm>>.

Acesso em: mar. 2019.

O hormônio antidiurético (ADH) produzido no hipotálamo e armazenado na hipófise é o principal regulador fisiológico do equilíbrio hídrico no corpo humano. Assinale a alternativa correta.

- a) A redução na ingestão de água aumenta a pressão osmótica do sangue. O ADH atua nos rins, aumentando a reabsorção de água e diminuindo a pressão osmótica do sangue.
- b) O aumento na ingestão de água aumenta a pressão osmótica do sangue. O ADH atua nos rins, aumentando a reabsorção de água e diminuindo a pressão osmótica do sangue.
- c) A redução na ingestão de água diminui a pressão osmótica do sangue. O ADH atua nos rins, aumentando a reabsorção de água e aumentando a pressão osmótica do sangue.
- d) O aumento na ingestão de água diminui a pressão osmótica do sangue. O ADH atua nos rins, diminuindo a reabsorção de água e aumentando a pressão osmótica do sangue.

16. Mackenzie-SP – A respeito do funcionamento dos néfrons, é correto afirmar que

- a) o hormônio antidiurético diminui a produção de urina porque diminui a pressão do sangue nos capilares dos glomérulos.
- b) a filtração ocorrida nos glomérulos transforma sangue venoso em sangue arterial.
- c) no túbulo contorcido distal ocorre a maior parte da reabsorção de água.

- d) a ausência de proteínas na urina de uma pessoa normal se deve à reabsorção dessa molécula no túbulo contorcido proximal.
- e) tanto no túbulo contorcido proximal quanto no túbulo contorcido distal ocorre transporte ativo.

17. Fuvest-SP – Os néfrons são as unidades funcionais dos rins, responsáveis pela filtração do sangue e pela formação da urina.

- a) Complete a tabela a seguir, comparando as concentrações de aminoácidos, glicose e ureia no sangue que chega ao néfron, com as concentrações dessas substâncias na urina e no sangue que deixa o néfron, em uma pessoa saudável. Marque com "X" os espaços da tabela correspondentes às alternativas corretas.

Substância	Concentração no sangue que chega ao néfron relativa à concentração na urina			Concentração no sangue que chega ao néfron relativa à concentração no sangue que deixa o néfron		
	maior	menor	equivalente	maior	menor	equivalente

- b) Cerca de 30% da água presente no sangue que chega ao néfron passa para a cápsula renal, onde se inicia a filtração. Entretanto, a quantidade de água no sangue que sai do néfron é praticamente igual à quantidade de água do sangue que chega a ele. Explique como ocorre a recomposição da quantidade de água no sangue.

ESTUDO PARA O ENEM

18. Sistema Dom Bosco

C4-H14

Dentro dos rins, existem cerca de 1 milhão de estruturas chamadas néfrons, que funcionam como filtros, descartando o que não serve para o organismo e reabsorvendo o que lhe é benéfico, principalmente água.

Disponível em: <<https://super.abril.com.br/mundo-estranho/como-se-formam-as-pedras-nos-rins/>>. Acesso em: nov. 2018.

Sobre a formação da urina retratada no texto acima, assinale a alternativa com a ordem correta dos processos necessários para essa formação.

- a) Filtração, reabsorção e secreção.
- b) Reabsorção, secreção e filtração.
- c) Filtração, transporte ativo e reabsorção.
- d) Secreção, reabsorção e filtração.
- e) Transporte ativo, filtração e reabsorção.

19. Enem

C4-H14

Durante uma expedição, um grupo de estudantes perdeu-se de seu guia. Ao longo do dia em que esse grupo estava perdido, sem água e debaixo de sol, os estudantes passaram a sentir cada vez mais sede. Consequentemente, o sistema excretor desses indivíduos teve um acréscimo em um dos seus processos funcionais.

Nessa situação o sistema excretor dos estudantes

- a) aumentou a filtração glomerular.
- b) produziu maior volume de urina.
- c) produziu urina com menos ureia.
- d) produziu urina com maior concentração de sais.
- e) reduziu a reabsorção de glicose e aminoácidos.

20. Enem

C4-H14

Portadores de diabetes insípido reclamam da confusão feita pelos profissionais de saúde quanto aos dois tipos de diabetes: mellitus e insípido. Enquanto o primeiro tipo está associado aos níveis ou à ação da insulina, o segundo não está ligado à deficiência desse hormônio. O diabetes insípido é caracterizado por um distúrbio na produção ou no funcionamento do hormônio antidiurético (na sigla em inglês, ADH), secretado pela neuro-hipófise para controlar a reabsorção de água pelos túbulos renais.

Tendo em vista o papel funcional do ADH, qual é um sintoma clássico de um paciente acometido por diabetes insípido?

- a) Alta taxa de glicose no sangue.
- b) Aumento da pressão arterial.
- c) Ganho de massa corporal.
- d) Anemia crônica.
- e) Desidratação.

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

EXCREÇÃO E HOMEOSTASE

21

A conquista do ambiente terrestre pelos animais foi um processo evolutivo que envolveu diversas adaptações fisiológicas: surgimento de um sistema ósseo e muscular resistente, mudança gradual de respiração branquial para pulmonar, controle da perda de água e, sobretudo, um sistema urinário com órgãos especializados.

O surgimento dos rins como órgãos excretores e a possibilidade de transformar a amônia em excretas nitrogenados menos tóxicos, como ureia e ácido úrico, reduzindo a necessidade de diluição, resultaram em uma economia significativa de água.

ETHAN DANIELS / ALAMY STOCK PHOTO



Os répteis, como o crocodilo, foram os primeiros a conquistar efetivamente o ambiente terrestre.

Excreção e homeostase

A homeostase é a capacidade de controlar o equilíbrio intracelular. Para mantê-la, é fundamental que o organismo receba oxigênio e nutrientes e elimine resíduos metabólicos. O dióxido de carbono (CO_2), derivado dos processos de oxigenação de compostos orgânicos, particularmente de glicose, é liberado pelos pulmões ou outros órgãos respiratórios (brânquias, pele etc.). Na maioria dos animais, os resíduos nitrogenados derivados do metabolismo de proteínas e ácidos nucleicos são eliminados por órgãos especializados do sistema urinário, a exemplo dos rins dos vertebrados, no processo de excreção.

Manter a homeostase também requer outros três processos distintos associados à função da excreção:

- **osmorregulação** – processo que regula a concentração de água e sais minerais, para manter o equilíbrio osmótico do organismo;

- Excreção e homeostase
- Sistema urinário comparado

HABILIDADES

- Compreender o processo de homeostase e o papel da excreção para manter tal condição.
- Reconhecer os diversos padrões de sistemas urinários dos animais (excreção comparada).

- **regulação do equilíbrio ácido-base** – importante para manter o potencial hidrogeniônico (pH) do plasma sanguíneo;
- **controle na concentração de íons** – elementos fundamentais para o funcionamento de muitos processos fisiológicos, a exemplo da geração de potenciais de ação no sistema nervoso.

EXCRETAS NITROGENADAS

Além do gás carbônico, outro resíduo gerado em maior quantidade no corpo são os excretas nitrogenados, formados na degradação, sobretudo, dos aminoácidos – componentes estruturais das proteínas. A decomposição dos aminoácidos retira deles o agrupamento amina (NH_2), convertido em outro composto antes de ser excretado. Nos vertebrados, essa conversão ocorre geralmente no fígado, e a eliminação do resíduo nitrogenado acontece nos rins.

Veja a seguir o tipo de classificação animal conforme o excreta nitrogenado produzido.

Amoniotéticos

Animais que eliminam resíduos nitrogenados na forma de **amônia**. Entre os vertebrados, pertencem a esse grupo os peixes ósseos e as larvas de anfíbios – animais aquáticos que contam com oferta abundante de água para diluição da amônia (NH_3). Esta é uma substância bastante tóxica, cuja eliminação acontece na própria superfície corporal, por meio de brânquias ou rins.

A eliminação de amônia apresenta como vantagem pequeno gasto energético na conversão do grupo amina. Além disso, eliminar amônia é um processo econômico, mas que depende de grande disponibilidade de água.

Com suprimento mais restrito de água, os animais terrestres precisam converter amônia em produtos menos tóxicos, como ureia e ácido úrico, que demandam menor perda de água.



O pirarucu (*Arapaima gigas*) é o maior peixe ósseo de água doce do Brasil e um dos maiores do mundo. Como todos os outros peixes ósseos, é um animal amoniotético.

Ureotéticos

Animais que excretam **ureia**. Em função da tonicidade (concentração de solutos no meio) do ambiente ou em virtude da menor disponibilidade de água, precisam converter o grupo amina, retirado dos aminoácidos, em ureia, substância menos tóxica e solúvel.

Embora demande maior gasto energético, esse processo promove maior economia de água, já que a necessidade de diluição da ureia é menor. Anelídeos, moluscos aquáticos, peixes cartilagosos, répteis aquáticos (tartaruga) e mamíferos são animais ureotéticos.

Durante a metamorfose, os anfíbios passam por profundas transformações morfológicas e fisiológicas, as quais os capacitam a mudar do ambiente aquático para o úmido. Os girinos, formas larvais, excretam amônia. No entanto, durante a metamorfose, passam a gradativamente excretar ureia na fase adulta.

Mamíferos também excretam ureia como principal resíduo nitrogenado, pois é uma substância solúvel em água e bastante difusível através das membranas vivas, podendo atravessar a placenta. Embriões dos mamíferos desenvolvem-se no útero materno e trocam materiais permanentemente com a mãe. Do organismo materno, pela placenta, recebem nutrientes, água, oxigênio e anticorpos e enviam para a mãe gás carbônico e outros resíduos metabólicos – como a ureia, produzida no fígado por meio de uma série de reações que caracteriza o ciclo da ureia ou da ornitina.



Mamíferos são seres ureotéticos. Na imagem, uma irara (*Eira barbara*), habitante de florestas tropicais da América Central e do Sul.

Uricotéticos

Animais que têm o **ácido úrico** como resíduo nitrogenado. Insetos, aves e répteis eliminam essa substância, insolúvel em água e ainda menos tóxica que a ureia. Em aves e répteis, o ácido úrico (na forma de cristais) mistura-se aos restos alimentares não digeridos, sendo que tudo é eliminado pela cloaca, em forma de pasta semissólida. Diante da evidente economia de água, a eliminação de ácido úrico adiciona vantagens importantes a aves e répteis, pois seus embriões se desenvolvem no interior de ovos dotados de casca calcária. Isso impede o dessecamento e a eliminação de resíduos diretamente no meio. Assim, aves e répteis armazenam essas substâncias no interior do ovo, em compartimento separado do embrião.

O ácido úrico pode ser armazenado com o embrião em desenvolvimento, sem representar risco de intoxicação. De todos os processos de excreção de resíduos nitrogenados, a do ácido úrico, mesmo que necessite

de pouquíssima água para diluição, representa maior gasto energético. Esse fato é plenamente compatível com a vida em ambiente escasso de líquidos e se relaciona à permanência dos embriões no interior de ovos adaptados ao desenvolvimento.



Python sp. eclodindo de ovo. Animais que botam ovos com casca calcária – como aves e répteis – são uricotélicos.

Guanina

Esta é uma base nitrogenada constituinte das moléculas dos ácidos nucleicos. Os aracnídeos são um grupo de animais que excretam esse resíduo, sendo uma exceção quando comparados aos outros seres vivos, em especial os artrópodes.



Os aracnídeos (aranhãs e escorpiões) têm a guanina como resíduo nitrogenado. Na imagem, uma aranha-saltadora (*Phidippus* sp.), única no gênero que se alimenta de néctar.

MECANISMO DE OSMORREGULAÇÃO

No curso da evolução, os vertebrados se adaptaram à osmorregulação de maneiras diferentes para sobreviver em diversos ambientes.

A água salgada é um meio muito mais concentrado (hipertônico) do que o meio interno dos peixes ósseos marinhos. Essa diferença de concentração faz com que esses animais percam água por osmose, através das brânquias e da superfície corporal. Por apresentarem rins pouco desenvolvidos, a excreção é feita na forma

de amônia. O excesso de sais é, então, eliminado por transporte ativo em glândulas presentes nas brânquias.

Os peixes cartilagosos marinhos, como os tubarões, toleram elevadas concentrações sanguíneas de ureia, o que os torna **isotônicos**, ou seja, apresentam a mesma concentração que o ambiente – adaptação chamada **uremia fisiológica**.

Os peixes ósseos de água doce estão em meio hipotônico (de menor concentração) em relação ao seu meio interno. Por serem mais concentrados osmoticamente que o meio, esses animais recebem água do ambiente pelo processo de osmose e perdem íons por difusão. Sendo assim, os peixes ósseos de água doce ingerem somente a água presente nos alimentos e eliminam muita urina diluída por meio dos rins. Como a perda de íons pelas brânquias não é compensada na reabsorção renal, aumentam a concentração do sangue ao realizarem a reabsorção iônica nas próprias brânquias, por transporte ativo.

Aves e répteis marinhos têm a **glândula de sal**, localizada acima dos olhos. Tal estrutura os tornam capazes de eliminar o excesso de sal obtido dos alimentos. Assim, o nível dessa substância na corrente sanguínea é reduzido.

Um dos maiores problemas dos mamíferos na adaptação aos diferentes ambientes é a retenção de água. Trata-se de questão particularmente complexa para os que vivem em ambientes muito secos (como os desertos) e para os mamíferos marinhos, como as baleias. Um tegumento relativamente impermeável revestido por queratina envolve os mamíferos, que podem produzir urina mais concentrada que os fluidos corporais, representando uma forma de eliminar solutos sem perder muita água. Os rins desses animais têm considerável capacidade de reabsorção de água.

Regulação do equilíbrio ácido-base

Esse processo é essencial para regular a homeostase e está associado ao sistema urinário. Consiste no ajuste do pH para estabelecer o equilíbrio do organismo, relacionado principalmente ao efeito tamponante dos íons bicarbonato.

Além disso, a excreção de urina ácida ou alcalina auxilia a manutenção do pH corporal. O pH do plasma humano está, habitualmente, entre 7,36 e 7,44 e o da urina, por sua vez, oscila entre 4,5 e 8,0. Se o pH do sangue tende à alcalose (pH > 7,44), o rim elimina urina alcalina e retém H⁺. Em caso de acidose (pH < 7,36), o rim produz urina ácida e retém íons bicarbonato.

Controle na concentração de íons

Os rins de vertebrados atuam no controle das concentrações de íons, como Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Cl⁻. Esses órgãos são de extrema importância, porque participam de processos bioquímicos fundamentais, como potencial de membrana de células eletricamente excitáveis, contração muscular, coagulação sanguínea e diversos outros processos metabólicos e celulares.

Sistema urinário comparado

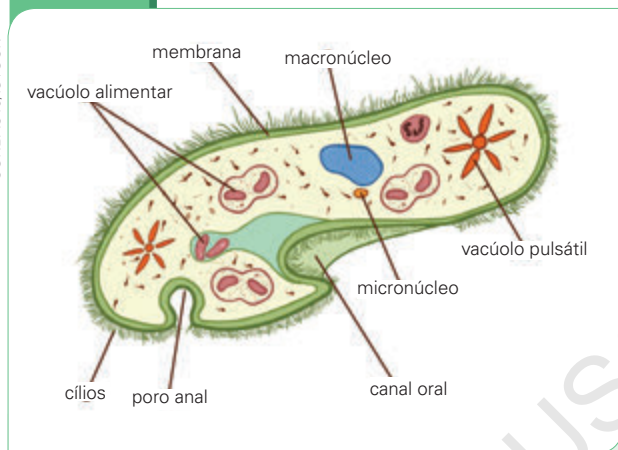
Os mecanismos de excreção nos diversos grupos animais variam de acordo com a complexidade de suas atividades metabólicas e com a substância nitrogenada a ser excretada.

PROTOZOÁRIOS

Nesses organismos, a eliminação de resíduos ocorre por meio da difusão do interior das células para o meio externo. Nos protozoários de água doce, o vacúolo pulsátil (contrátil) elimina a água e os resíduos tóxicos. Quanto mais hipotônico o meio, maior é a frequência de pulsações do vacúolo, a fim de eliminar o excedente hídrico e evitar a destruição da estrutura celular.

Paramécio

CORBAC40/ISTOCK



Esquema da morfologia do *Paramecium saudatum*, espécie de protozoário que apresenta vacúolo pulsátil. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

PORÍFEROS E CNIDÁRIOS

Estes animais não contam com sistema urinário estruturado e eliminam resíduos para o meio externo por difusão.

PLATELMINTOS

Apresentam sistema urinário formado por órgãos tubulares com uma extremidade aberta e outra fechada, chamadas de **protonefrídeos**. O batimento dos flagelos das células-flama desses animais faz as excretas percorrerem os tubos excretores que desembocam na epiderme. Assim, a eliminação das excretas nitrogenadas desses seres ocorre principalmente por meio dos nefridióporos presentes na parede corporal.

NEMATELMINTOS

Esses seres realizam excreção por meio de dois mecanismos: as excretas nitrogenadas são eliminadas por difusão, e as demais, incluindo íons e água, pelos **renetes**. Estes são células grandes em formato de "H", compostas de dois canais que se estendem longitudinalmente pelo corpo do nematódeo e se unem por um canal transversal na região anterior. As substâncias a

serem excretadas difundem-se para esses canais e são eliminadas por um poro ventral anterior, próximo à boca.

Ascaris fêmea

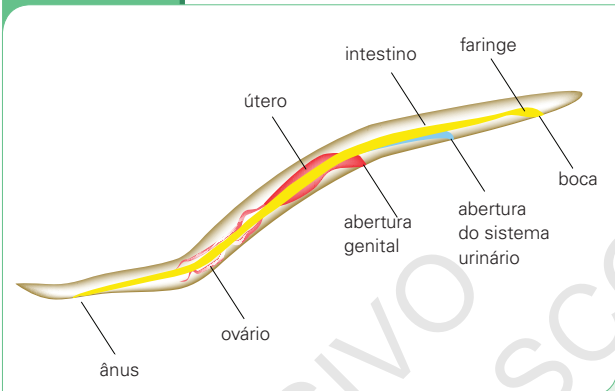
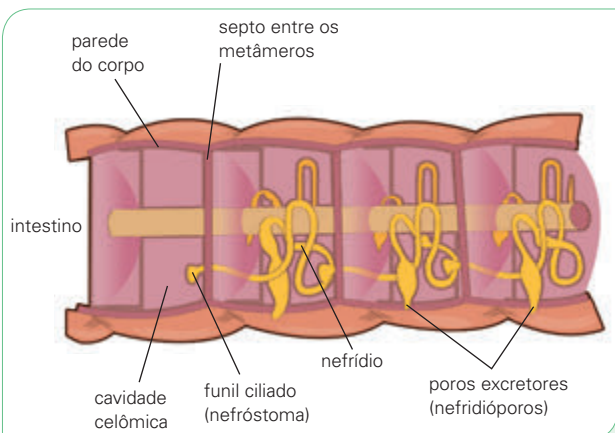


Ilustração do poro ventral anterior (abertura do sistema urinário) de *Ascaris* sp. (nematelminto). Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

IRYNA TIMONINA / ALAMY STOCK VECTOR

ANELÍDEOS E MOLUSCOS

A excreção desses animais acontece pelos **metanefrídios**. Trata-se de estruturas presentes aos pares em cada segmento do corpo, constituídas de longos e delgados túbulos que funcionam como pequenos rins. Uma de suas extremidades, a **nefróstoma** (em forma de funil de borda ciliada), abre-se na cavidade corporal (celoma). Esta estrutura tem a função de filtrar as excreções a partir do líquido celomático circulante, sendo direcionadas para o interior dos túbulos. Na outra extremidade dos metanefrídios, o **nefridiópore**, orifício de eliminação das excreções, abre-se para fora do corpo.



Sistema urinário da minhoca (anelídeo). Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

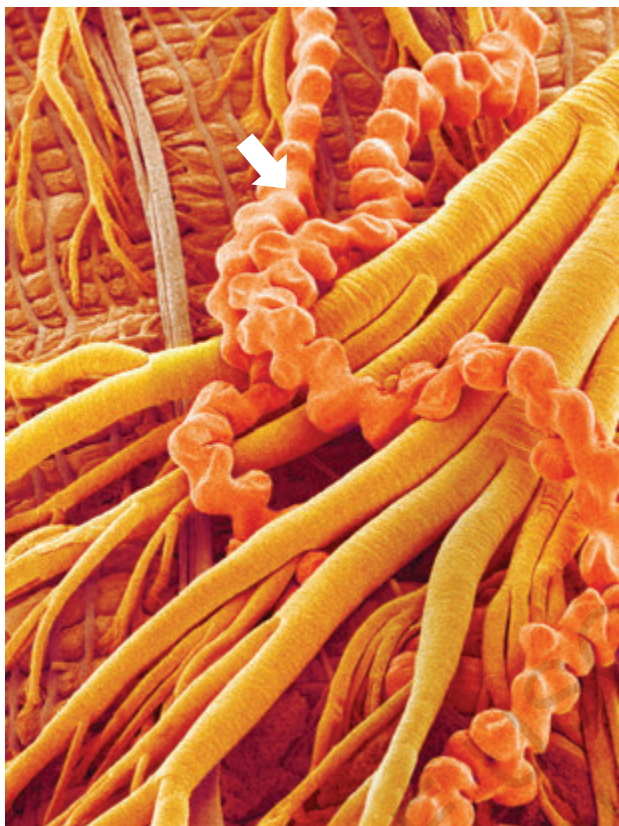
ARTRÓPODES

As estruturas excretoras desses animais são bastante diversas entre os diferentes grupos. Insetos, diplópodes e quilópodes apresentam como órgão excretor os **túbulos de Malpighi**, estruturas delgadas que partem do intestino médio e ficam imersos na hemocele. A união dos túbulos de Malpighi com o in-

testino desses animais faz as excretas nitrogenadas serem lançadas ao ambiente com as fezes.

Esses animais excretam principalmente **ácido úrico**, substância insolúvel e pastosa que reduz a perda de água. Esse processo consiste em uma adaptação desses seres à vida terrestre.

SUSUMU NISHINAGA / SCIENCE PHOTO LIBRARY



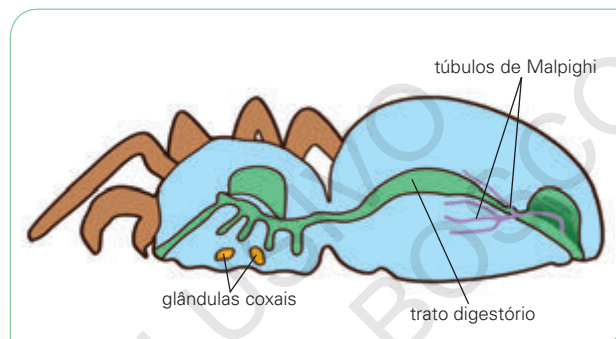
Eletromicrografia de varredura dos túbulos de Malpighi (seta) de borboleta (ordem Lepidoptera). Aumento desconhecido. Cores fantasia.

A excreção dos crustáceos depende de glândulas localizadas na cabeça – as **glândulas verdes** (também chamadas de antenares) e as **glândulas mandibulares**. Essas estruturas filtram a hemolinfa e removem suas excretas, que são, por fim, eliminados no ambiente pelos poros presentes nas antenas.



Localização das glândulas verdes – estruturas que compõem o sistema urinário dos crustáceos. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Os **aracnídeos** apresentam como órgãos de excreção túbulos de Malpighi e **glândulas coxais**. Estas estão localizadas na região do cefalotórax e realizam filtração das excreções a partir da hemolinfa circulante. Elas são posteriormente eliminadas para o meio externo por meio de poros associados às glândulas coxais. Nesses seres, os túbulos de Malpighi atuam da mesma forma que nos insetos.



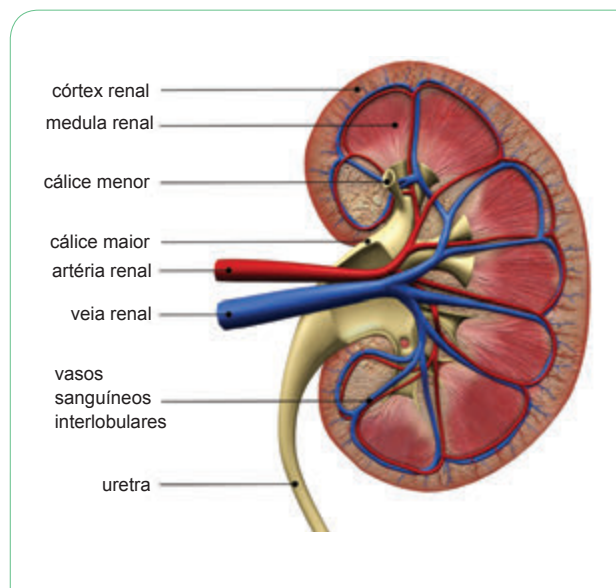
Glândulas coxais e túbulos de Malpighi, componentes do sistema urinário dos aracnídeos. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

EQUINODERMOS

Esses animais não apresentam estrutura especializada para excreção, a qual se realiza por difusão através de toda a superfície do corpo.

CORDADOS

Os túbulos excretores desses seres concentram-se em órgãos chamados **rins**. As extremidades coletoras dos túbulos não são abertas como nos nefrídios e estão associadas aos vasos sanguíneos. A unidade funcional dos rins é o néfron, porção que participa da filtração sanguínea, da reabsorção de nutrientes e da secreção de excretas para formar a urina.



Anatomia básica do rim de um cordado. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

STOCKTREK IMAGES, INC. / ALAMY STOCK PHOTO

Tipos de rins de vertebrados

Os vertebrados apresentam três tipos de rins: pronefro, mesonefro e metanefro.

- os **rins pronefros** se localizam na região anterior da cavidade corporal. São metamerizados e atuam na filtração do líquido celomático. Estão presentes no embrião de todos os vertebrados e são ativos em alguns peixes (ciclóstomos) e em larvas de anfíbios.

- os **rins mesonefros** apresentam localização mediana na cavidade corporal e têm alguns túbulos com cápsulas renais. Atuam na filtração do líquido celomático e do sangue e estão presentes em peixes e anfíbios adultos.
- os **rins metanefros** estão localizados na parte posterior da cavidade corporal. Apresentam cápsulas renais em todos os túbulos, cuja função é filtrar o sangue, e ocorrem em répteis, aves e mamíferos.

LEITURA COMPLEMENTAR

A ciência vai ao banheiro

Até o século XIX, acreditava-se que todas as substâncias orgânicas seriam provenientes de seres vivos e dotadas de uma força vital que as tornavam impossíveis de serem reproduzidas. Até que em 1828, o cientista alemão Friedrich Wöhler, ao misturar cianeto de prata e cloreto de amônio, duas substâncias inorgânicas, formou cristais de ureia, um dos principais componentes da urina de anfíbios adultos e mamíferos.

Por ser produzida por animais, acreditava-se que a ureia era uma substância orgânica. Com essa experiência, Wöhler provou que não existem forças vitais e que é possível sintetizar substâncias orgânicas, o que abriu a porta para pesquisas que deram origem à síntese de diversas outras substâncias, como vitaminas e fertilizantes.

KENSKI, Rafael. Que mistura: as histórias curiosas da química. *Superinteressante*. 31 out. 2016. Disponível em: <<https://super.abril.com.br/ciencia/que-mistura-as-historias-curiosas-da-quimica/>>. Acesso em: nov. 2018. (Adaptado)

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO DO
SISTEMA DE ENSINO DOMINUS

ROTEIRO DE AULA

EXCREÇÃO E HOMEOSTASE

excretas nitrogenadas

amônia

alta toxicidade

solubilidade alta

ambientes aquáticos

representantes:
nematelmintos
moluscos
peixes ósseosplatelmintoslarvas de anfíbioscrustáceos

ureia

toxicidade: média

média solubilidade

ambientes: aquáticos e
terrestresrepresentantes:
anelídeos
anfíbios adultosmamíferospeixes cartilaginosos

ácido úrico

baixa toxicidade

solubilidade: baixa

ambientes terrestres

representantes:
répteisavesinsetos

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

- 1. Unisc-RS (adaptada)** – Os túbulos de Malpighi são órgãos encontrados nos insetos com a função
- de metabolismo.
 - de absorção.
 - sensorial.
 - de excreção.
 - de osmorregulação.

Os túbulos de Malpighi estão relacionados ao processo de excreção e presentes em insetos.

- 2. UFPR** – O metabolismo celular dos animais gera substâncias nitrogenadas que são eliminadas pelo processo de excreção. Acerca desse processo, considere as seguintes afirmativas:

- A amônia é tóxica para o organismo, mas, por ser bastante solúvel em água, é rapidamente difundida e eliminada por animais que vivem em ambiente aquático.
- Nas aves, a amônia é convertida em ureia, que é menos tóxica que a amônia e demanda um volume relativamente grande de água para sua eliminação.
- Insetos convertem amônia em ácido úrico, produzindo uma urina mais concentrada, pois o ácido úrico é pouco tóxico e tem baixa solubilidade em água.
- Mamíferos excretam principalmente ureia, que, por ser menos tóxica, pode ser armazenada temporariamente no corpo sem risco de intoxicação.

Assinale a alternativa correta.

- Somente as afirmativas 1 e 2 são verdadeiras.
- Somente as afirmativas 1 e 3 são verdadeiras.
- Somente as afirmativas 2 e 4 são verdadeiras.
- Somente as afirmativas 1, 3 e 4 são verdadeiras.
- As afirmativas 1, 2, 3 e 4 são verdadeiras.

A alternativa 2 está incorreta. As aves excretam o ácido úrico com as fezes.

- 3. Unicid-SP (adaptada)** – As glândulas lacrimais de alguns animais marinhos, como a tartaruga, são adaptadas a esse ambiente e auxiliam no importante processo fisiológico osmorregulador. Em contrapartida, a presença de narinas indica que o sistema respiratório é adaptado ao ambiente terrestre. O que é a osmorregulação? Cite o principal sistema responsável por esse processo.

Osmorregulação é a capacidade dinâmica que certos animais aquáticos

têm de manter a pressão osmótica de seus fluidos corpóreos estável

em determinada faixa em relação à pressão osmótica do meio em que

vivem. Os animais marinhos, como tartarugas, tubarões e outros peixes

cartilagosos, conseguem manter a tonicidade do sangue próxima à da

água do mar por meio do acúmulo de ureia, excreta nitrogenado produ-

zido e eliminado pelo sistema urinário.

- 4. UEPG-PR** – Considerando-se os sistemas de excreção e os produtos excretados por diversos organismos, assinale o que for correto.

- Animais aquáticos podem excretar diretamente a amônia, pois, apesar de ser muito tóxica, também é muito solúvel em água. Já os animais terrestres teriam que gastar muita água para excretar amônia, correndo risco de desidratação.
- O sistema urinário dos protozoários é formado por células-flama, as quais excretam restos alimentares por um orifício na parte distal do animal.
- Os embriões da maioria dos répteis, aves e insetos excretam amônia através de poros situados na casca do ovo, impedindo assim que o embrião se intoxique com a substância.
- Os anfíbios adultos e os mamíferos excretam ureia, a qual, por ser menos tóxica que a amônia, pode ser eliminada de forma mais concentrada, levando à economia de água pelo animal.
- Os anelídeos possuem um sistema urinário composto de túbulos de Malpighi, sendo que parte da excreção também pode ser realizada por difusão, através da superfície do corpo.

01 + 08 = 09.

As células-flama estão presentes em platelmintos. Os protozoários excretam por difusão e/ou por vacúolos pulsáteis. Os embriões da maioria de répteis, aves e insetos excretam ácido úrico. Os anelídeos excretam por metanefrídeos.

- 5. UFU-MG**

C4-H14

Os animais podem ser classificados em amoniotélicos ou ureotélicos, de acordo com o tipo de sua excreta nitrogenada. Em relação à afirmativa, considere a tabela a seguir.

Animal	Tipo de excreta
I	Ureia
II	Amônia
III	Ácido úrico

Os animais I, II e III são, respectivamente,

- pardal, rã e macaco.
- baiacu, macaco e pardal.
- macaco, gavião e baiacu.
- sapo, baiacu e gavião.

Os sapos habitam ambientes terrestres úmidos e excretam predominantemente ureia. O baiacu é um peixe ósseo que excreta principalmente amônia. O gavião é uma ave que elimina o ácido úrico com as fezes.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Identificar padrões em fenômenos e processos vitais dos organismos, como manutenção do equilíbrio interno, defesa, relações com o ambiente, sexualidade, entre outros.

- 6. Unifesp** – Ao longo da evolução dos metazoários, verifica-se desde a ausência de um sistema urinário específico até a presença de sistemas urinários complexos, caso dos rins dos mamíferos. As substâncias nitrogenadas excretadas variam segundo o ambiente em que os animais vivem: vários grupos excretam a amônia, que é altamente tóxica para o organismo, enquanto outros eliminam excretas menos tóxicas, como a ureia e o ácido úrico.

- Correlacione cada tipo de excreta predominante (amônia, ureia ou ácido úrico) com um exemplo de

vertebrado que excrete tal substância e o ambiente em que ocorre, se terrestre ou aquático.

A amônia é excretada por animais aquáticos, tais como girinos e peixes ósseos. A ureia é eliminada por animais predominantemente terrestres, como anfíbios adultos, mamíferos e peixes cartilagosos. O ácido úrico é excretado por animais terrestres, como répteis e aves.

b) Cite um grupo animal que não apresenta um sistema urinário específico e explique como se dá a excreção de produtos nitrogenados nessa situação.

Poríferos e cnidários não apresentam sistema urinário verdadeiro. Os representantes desses grupos animais eliminam excretas diretamente na água, por difusão.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. Unicamp-SP – Em relação à forma predominante de excreção dos animais, é correto afirmar que

- peixes são animais amoniotéticos; aves e répteis são ureotéticos; e mamíferos são uricotéticos.
- a ureia é altamente tóxica e insolúvel em água, sendo a principal excreta das aves.
- peixes, exceto os condrictes, são amoniotéticos; e aves e répteis adultos são ureotéticos.
- a amônia é altamente tóxica e necessita de um grande volume de água para ser eliminada.

8. Mackenzie-SP – A respeito da excreção, assinale a alternativa correta.

- Os metanefrídeos são as estruturas excretoras presentes em anelídeos e moluscos e retiram excretas da cavidade celomática e do sangue.
- Em todos os artrópodes, os excretas são eliminados juntamente com as fezes.
- Tanto em animais marinhos quanto em animais de água doce, o principal excreta nitrogenado é a amônia.
- Estruturas responsáveis pela excreção estão presentes em todos os metazoários.
- As células-flama, presentes em platelmintos, retiram os excretas das células do corpo e lançam na cavidade digestiva para serem eliminados.

9. PUC-RJ – Com relação à excreção nos animais vertebrados, é **incorreto** afirmar que

- diversos animais aquáticos, incluindo peixes e larvas de anuros, excretam amônia, que, apesar de ser muito tóxica, também é muito solúvel em água.
- diversos animais terrestres como mamíferos e adultos de anfíbios excretam ureia, que é menos tóxica que a amônia e, portanto, pode ser eliminada de forma mais concentrada.
- a maioria dos répteis (incluindo as aves) excreta ácido úrico, que é muito solúvel em água.
- não é considerada como excreção a eliminação de restos de comida pelas fezes.
- parte da excreção nos mamíferos se dá através do suor.

10. Fuvest-SP – Em mamíferos saudáveis, a concentração de excreta nitrogenado difere na urina de herbívoros comedores de grama e de carnívoros estritos.

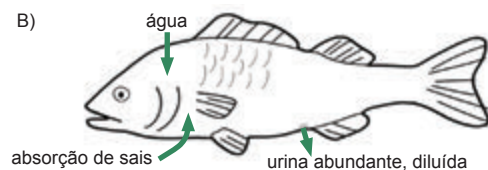
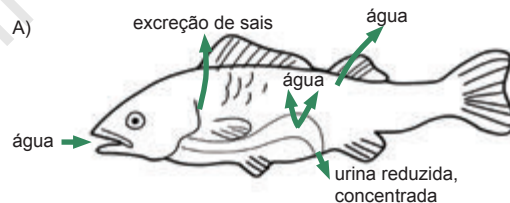
- Que excreta nitrogenado está presente na urina dos animais de cada um desses grupos?

b) Em qual desses grupos de animais a concentração de excreta nitrogenado é maior? Justifique sua resposta.

11. Fuvest-SP – Borboleta, lula e avestruz têm como principal excreta nitrogenado, respectivamente,

- ácido úrico, amônia e ácido úrico.
- ácido úrico, ureia e amônia.
- amônia, ácido úrico e amônia.
- amônia, ureia e ácido úrico.
- ureia, amônia e ácido úrico.

12. Mackenzie-SP



O esquema, acima, mostra como ocorre a manutenção osmótica em duas espécies de peixes. A esse respeito, considere as seguintes afirmativas.

- No peixe A, a eliminação de sais pelas brânquias ocorre de forma passiva.
- A ingestão de água no peixe A repõe a água perdida por osmose.
- O peixe B elimina amônia como principal excreta nitrogenado.
- No peixe B, tanto a absorção de sais como a de água ocorrem de forma ativa.

Estão corretas apenas as afirmativas

- I, II e III.
- II e III.
- I, III e IV.
- II, III e IV.
- I e II.

13. Uerj – A salinidade da água é um fator fundamental para a sobrevivência dos peixes. A maioria deles vive em condições restritas de salinidade, embora existam espécies, como o salmão, que conseguem viver em ambientes que vão da água doce à água salgada. Há peixes que sobrevivem em concentrações salinas adversas, desde que estas não se afastem muito das originais. Considere um rio que tenha passado por um processo de salinização. Observe na tabela suas faixas de concentração de cloreto de sódio.

Trecho do rio	Concentração de NaCl (mol.L ⁻¹)
W	< 0,01
X	0,1 – 0,2
Y	0,4 – 0,5
Z	> 0,6*

*isotônica à água do mar

Considere um peixe em estresse osmótico que consegue sobreviver eliminando mais urina e reabsorvendo mais sais do que em seu hábitat original.

Esse peixe é encontrado no trecho do rio identificado pela seguinte letra:

- a) W
- b) X
- c) Y
- d) Z

14. Uerj – A amônia é produzida pelos organismos vivos, especialmente durante o catabolismo dos aminoácidos. Por ser muito tóxica, alguns vertebrados a incorporam, antes da excreção, como ácido úrico ou como ureia. Cite um vertebrado que excreta diretamente amônia e identifique o principal órgão excretor dessa substância. Aponte, também, uma vantagem de adaptação ambiental relativa às aves e outra relativa aos répteis, por excretarem ácido úrico, substância pouco solúvel em água.

15. UPF-RS – Além de manterem o balanço de sais e água, os animais precisam eliminar de seu fluido extracelular os produtos do metabolismo. Proteínas e ácidos nucleicos, por exemplo, contêm nitrogênio e, por isso, sua metabolização gera produtos nitrogenados, além de água e dióxido de carbono. Os animais excretam tais produtos nitrogenados de diferentes formas.

Assinale a alternativa que relaciona corretamente os grupos de animais ao principal tipo de produto nitrogenado que excretam:

Animais	Principal produto nitrogenado excretado
a) Insetos, répteis e aves	Ácido úrico
b) Mamíferos e anfíbios adultos	Amônia
c) Invertebrados aquáticos e peixes ósseos	Ureia
d) Aves, répteis e mamíferos	Ácido úrico
e) Mamíferos e aves	Ureia

16. UFU-MG – Os itens abaixo referem-se aos diferentes tipos de sistemas excretores.

- I. Órgãos excretores chamados metanefrídeos, que consistem em um tubo aberto nas duas extremidades, uma das quais é alargada, formando um funil ciliado, o nefróstoma. A outra extremidade é estreita, constituindo o nefridióporo ou poro excretor.
- II. A excreção ocorre por meio de duas glândulas que se abrem na base das antenas, por isso são denominadas glândulas antenais (ou glândulas verdes).
- III. As excreções são eliminadas por meio de túbulos de Malpighi, que são estruturas tubulares alongadas presentes na hemocele, em contato direto com a hemolinfa. Uma das extremidades de cada túbulo de Malpighi é fechada, e a outra se abre na região mediana do intestino. Os túbulos filtram a hemolinfa, removendo as excreções e lançando-as no intestino, de onde são eliminadas com as fezes.

Os itens I, II e III referem-se, respectivamente, ao sistema urinário dos

- a) moluscos, insetos e crustáceos.
- b) anelídeos, crustáceos e insetos.
- c) caramujos, anelídeos e anfíbios.
- d) insetos, crustáceos e anelídeos.

17. Sistema Dom Bosco – A manutenção da homeostase nos organismos ocorre principalmente por meio do sistema urinário, o qual, além de remover os excretas nitrogenados, mantém sua osmorregulação. Existem várias formas de eliminar os resíduos nitrogenados. As abelhas, por exemplo, excretam ácido úrico; a sardinha, amônia; os cachorros, ureia. Explique por que esses animais excretam diferentes tipos de excretas nitrogenados.

ESTUDO PARA O ENEM

18. Sistema Dom Bosco

C4-H14

“Um organismo é uma reunião de sistemas intimamente integrados que interagem de forma harmônica e eficiente. Cada sistema contribui para o bom desempenho dos demais e todos são de igual importância para a manutenção das diferentes funções. Essa interação dos diferentes sistemas possibilita aos animais manterem, dentro de certos limites, um meio constante, tanto em composição química como em ritmo de atividade”

LOPES, Sônia. *Bio*: volume único. São Paulo: Saraiva, 1999.

O texto acima se refere ao processo de homeostase, que é mantido por diversos sistemas, incluindo o excretor. O sistema urinário influi na homeostase principalmente por promover

- a) transporte ativo de água, regulação hormonal e regulação na concentração de íons.
- b) osmorregulação, regulação do equilíbrio ácido-base; regulação na concentração de íons.
- c) termorregulação, produção de fezes e urina.
- d) regulação do equilíbrio ácido-base, regulação hormonal e produção de fezes.
- e) produção de fezes e urina, regulação hormonal e transporte ativo de água.

19. Sistema Dom Bosco

C4-H16

A conquista definitiva do ambiente terrestre

Algumas características permitiram a conquista definitiva do ambiente terrestre pelos répteis. Essas características estão relacionadas, principalmente, ao fato de eles dependerem da água para respirar e se reproduzir. A pele dos répteis é altamente queratinizada, sem glândulas de muco e revestida por escamas ou placas ósseas. Isso dificulta a perda de água através da superfície do corpo e protege os

répteis da dessecação. A pele impermeável não permite a realização de trocas gasosas através da epiderme. Dessa forma, a respiração nos répteis é exclusivamente pulmonar.

BRITES, Alice Dantas. *Pedagogia & Comunicação*. Uol. Disponível em: <<https://educacao.uol.com.br/disciplinas/ciencias/repteis-primeiros-vertebrados-a-conquistar-o-ambiente-terrestre.htm>>. Acesso em: 26/11/2018.

A conquista do ambiente terrestre pelos répteis também se relaciona com seu sistema urinário, que elimina excretas de baixa ou nenhuma toxicidade e pode economizar a água que seria utilizada para diluir excretas mais tóxicas. Sobre o sistema urinário desses animais, é correto afirmar que

- a) todos os répteis excretam ácido úrico.
- b) os répteis aquáticos (tartarugas) excretam ureia.
- c) todos os répteis excretam amônia.
- d) os répteis crocodilianos excretam ureia.
- e) os répteis aquáticos (tartarugas) excretam ácido úrico.

20. Enem

C4-H14

O deserto é um bioma que se localiza em regiões de pouca umidade. A fauna é, predominantemente, composta por animais roedores, aves, répteis e artrópodes.

Uma adaptação, associada a esse bioma, presente nos seres vivos dos grupos citados é o(a)

- a) existência de numerosas glândulas sudoríparas na epiderme.
- b) eliminação de excretas nitrogenadas de forma concentrada.
- c) desenvolvimento do embrião no interior de ovo com casca.
- d) capacidade de controlar a temperatura corporal.
- e) respiração realizada por pulmões foliáceos.

22

SISTEMA IMUNITÁRIO HUMANO

- Órgãos linfoides
- Defesas inespecíficas
- Defesas específicas
- Imunização passiva

HABILIDADES

- Identificar estruturas, tecidos, células e secreções atuantes nos mecanismos de defesa inespecífica do organismo humano.
- Compreender o mecanismo específico de defesa como parte da estrutura do sistema imune.
- Conceituar termos específicos como imunidade celular, imunidade humoral, antígeno e anticorpo.
- Reconhecer os processos de imunizações ativa e passiva e a importância deles para a atividade do sistema imunitário humano.

Todos os dias, nosso organismo é exposto a milhares de microrganismos e, se não houvesse um sistema especializado de defesa, ficaríamos sujeitos a muitas doenças. Nosso corpo conta com dois mecanismos principais de defesa: os inespecíficos, comuns a todos os indivíduos, e os específicos, que são próprios de cada agente patogênico.

A maioria das doenças gera sintomas no organismo. A febre, por exemplo, é um sintoma de grande importância para nosso sistema imunitário, pois o aumento da temperatura corporal facilita a ação das células de defesa que atuam em temperaturas acima de 37,5 °C. A temperatura normal humana varia de 36 °C a 37 °C e é por isso que normalmente os medicamentos antitérmicos são recomendados quando a febre é associada a outros sintomas ou quando supera a temperatura de 39 °C.

ALEKSANDRA SUZISHUTTERSTOCK



A febre é a manifestação clínica que auxilia o sistema imunitário.

Órgãos linfoides

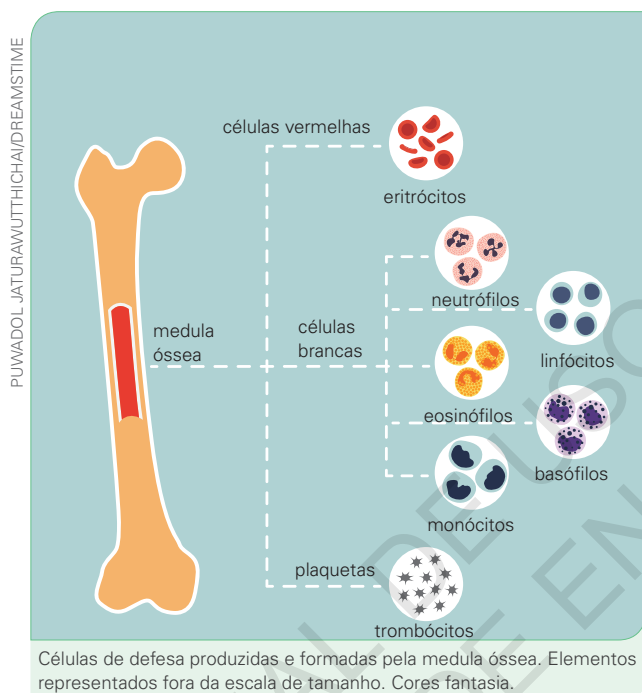
O sistema imunitário, também chamado de sistema imune ou imunológico, é formado pelos órgãos linfoides associados a uma rede de vasos. Essas estruturas reconhecem os agentes externos e patógenos a fim de produzir uma resposta imune específica. Os órgãos linfoides são divididos em **primários** e **secundários**.

ÓRGÃOS PRIMÁRIOS

São aqueles que apresentam como principal função a maturação das células de defesa, representados pelo **timo** e pela **medula óssea**. Os leucócitos são as células de defesa produzidos na medula, de modo que alguns são maturados no timo.

A medula óssea, além da função sustentadora, é responsável pela hematopoiese (formação das células sanguíneas), pelo armazenamento de ferro para a síntese de hemoglobina pela formação dos **pró-linfócitos** e **linfoblastos T**. Essas células não são capazes de gerar uma resposta imune, mas os pró-linfócitos se direcionam para o timo para formar os linfócitos T, e os pró-linfócitos para os órgãos secundários para se desenvolverem.

O timo é um órgão linfoide localizado no tórax, dividido em dois lobos revestido por uma cápsula fibrosa. Sua principal função é promover a maturação dos **linfócitos T** provenientes da medula óssea até a fase de **pró-linfócitos**, estágio que são encaminhados a outras estruturas linfoides para realizar de fato a resposta imune.



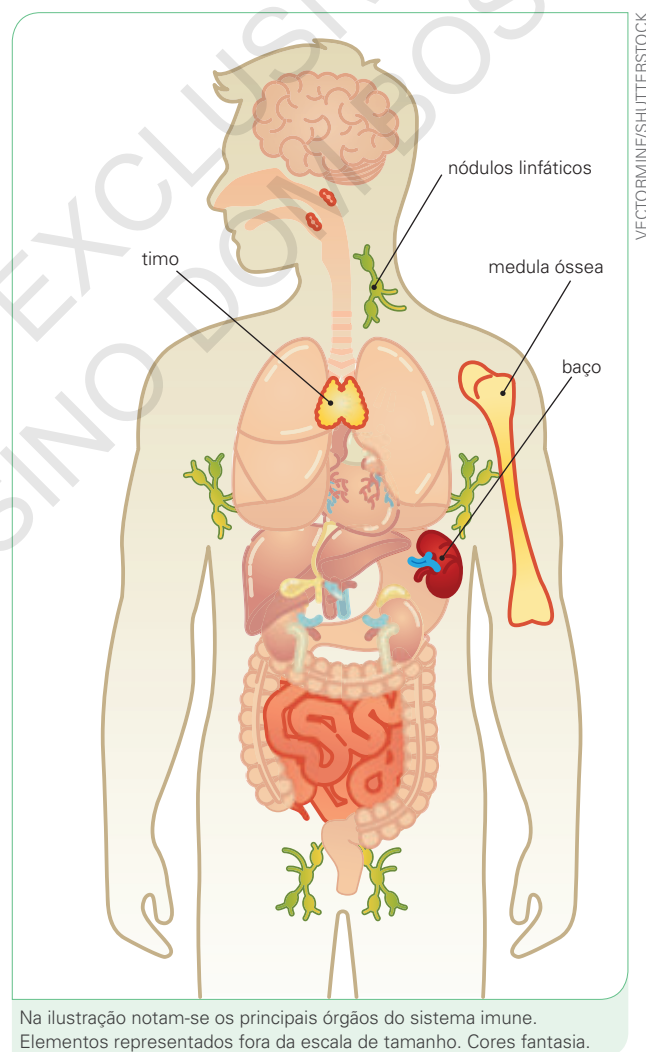
ÓRGÃOS SECUNDÁRIOS

São aqueles que recebem células geradas nos órgãos primários e neles ocorrem sua proliferação e transporte. São eles que efetivamente participam do processo de elaboração da resposta imune: os linfonodos, tonsilas, placas de Peyer, baço, gânglios linfáticos e o apêndice.

No córtex dos linfonodos estão localizados os **nodos linfáticos**, estruturas ricas em **linfócitos B** em processo de maturação, e pode-se até mesmo encontrar macrófagos e plasmócitos. Os nodos linfáticos são pequenos órgãos em formato de feijão, perfurados por canais existentes em diversos pontos da rede linfática (rede de ductos que faz parte do sistema linfático). Sua principal função é filtrar a linfa, eliminando bactérias, vírus, restos celulares e diversas outras substâncias.

Com a função de drenar o líquido intersticial que não retornou às vênulas e coletar microrganismos e

resíduos celulares dos tecidos, os **vasos** desembocam em ductos principais, o ducto linfático torácico e o ducto linfático direito. Outros constituintes do sistema imunitário são o **baço**, que participa do processo de hematopoiese, hemocaterese (renovação de hemácias) e da liberação de células linfoides maduras, com capacidade de direcionar a resposta imune para o sangue. As **tonsilas** (anteriormente chamadas de amígdalas), são conjuntos de nódulos linfáticos localizados na cavidade bucal (tonsilas palatinas e linguais e nasofaríngeas) e as **placas de Peyer**, que também são aglomerados de linfócitos, são localizadas abaixo de mucosas. Tanto as tonsilas como as placas de Peyer são responsáveis por produzir **plasmócitos**, responsáveis por proteger as mucosas onde estão localizadas.



Defesas inespecíficas

As defesas inespecíficas **não diferenciam o tipo exato do agente invasor** e atuam sempre da mesma maneira em todos os indivíduos. Esses mecanismos são os primeiros sistemas de defesa utilizados pelo nosso organismo para combater agentes invasores por meio de barreiras físicas e químicas.

A pele e as mucosas do sistema digestório, respiratório e urogenital são formadas por epitélios, constituídos de células firmemente aderidas umas às outras, as quais atuam como **barreiras físicas** à entrada de microrganismos e outros agentes estranhos ao organismo.

Na superfície de contato com o ambiente, a pele contém uma camada espessa de queratina, cuja propriedade impermeabilizante dificulta o acesso de organismos patogênicos. Além disso, secreções químicas produzidas por glândulas sudoríparas e sebáceas são lançadas na superfície da pele, tornando seu pH ácido (entre 3 e 5). Esse conjunto de fatores atua como **barreiras químicas**, uma vez que reduzem a viabilidade e a capacidade de proliferação de muitas bactérias e outros microrganismos. O suor, por exemplo, contém grande quantidade da enzima denominada lisozima, capaz de fragmentar a parede celular de bactérias; as lágrimas e a saliva encerram moléculas que auxiliam na destruição de microrganismos; as secreções mucosas (muco) sintetizadas e liberadas pelas células caliciformes presentes no epitélio respiratório da traqueia, por exemplo, retêm agentes invasores posteriormente expelidos pela cavidade nasal; e o ácido clorídrico liberado por células do epitélio do estômago auxilia na morte de microrganismos ingeridos com os alimentos, uma vez que o potencial de hidrogênio (pH) ácido estabelecido inviabiliza a sobrevivência deles.

Se a pele, as mucosas e as secreções forem vencidas, o agente invasor se depara com células que, em conjunto, são chamadas de **fagócitos**. Essas células realizam o processo de **fagocitose**, emitindo pseudópodes (prolongamentos da membrana celular) que englobam os agentes estranhos para serem digeridos intracelularmente.

KATERYNA KONSHUTTERSTOCK

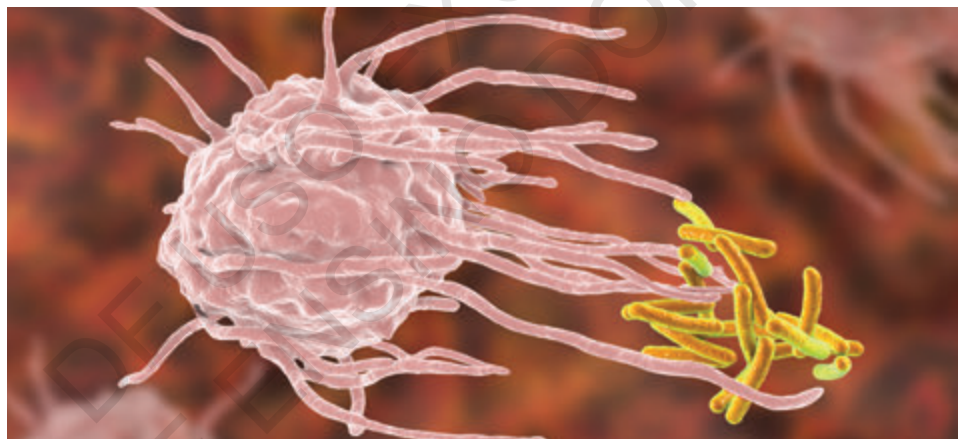
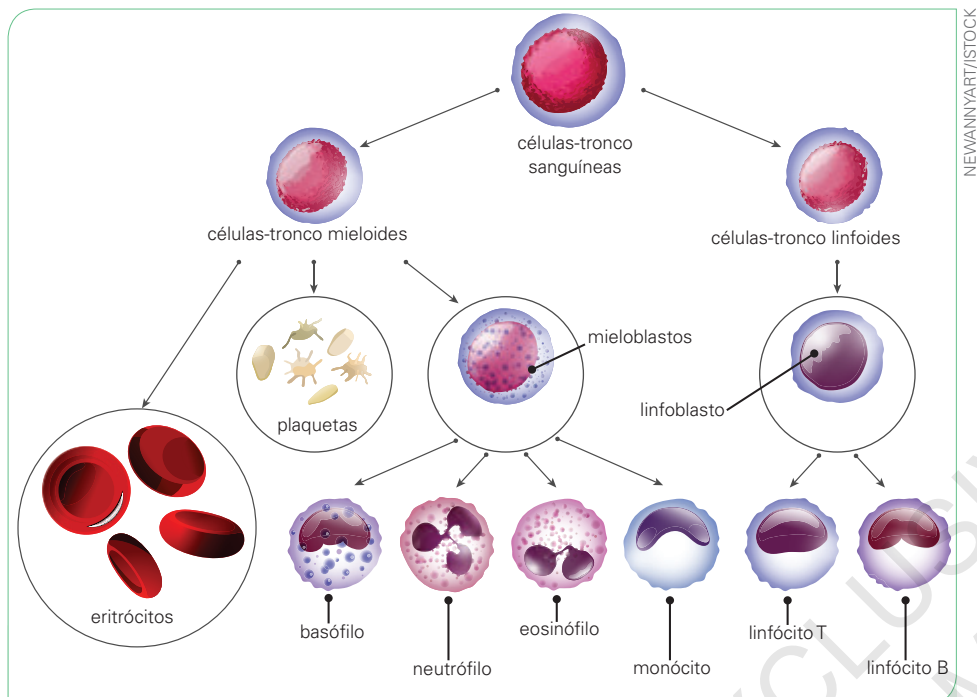


Ilustração de um macrófago fagocitando bactérias da tuberculose (*Mycobacterium tuberculosis*). Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Observe no quadro a seguir os principais tipos de fagócitos.

Principais tipos de fagócitos	
Fagócitos	Funções
Basófilos	Liberam histamina e heparina em infecções.
Eosinófilos	Produzem histaminas em infecção.
Neutrófilos	Realizam fagocitose e digestão dos microrganismos.
Mastócitos	Liberam histamina quando o tecido é lesado.
Monócitos	Diferenciam-se em macrófagos.
Macrófagos	Fagocitam patógenos e apresentam antígenos.
Células dendríticas	Apresentam antígenos e linfócitos T; produzem anticorpos e diferenciam-se em plasmócitos.

Dependendo do grau de invasão dos agentes estranhos, pode acontecer não somente a ativação dos fagócitos, mas a deflagração de uma resposta mais intensa e complexa, a **resposta inflamatória**. A inflamação do tecido lesado ocorre de imediato, independentemente da presença de bactérias na região, e é provável que isso aconteça como procedimento preventivo.



NEWANNYART/ISTOCK

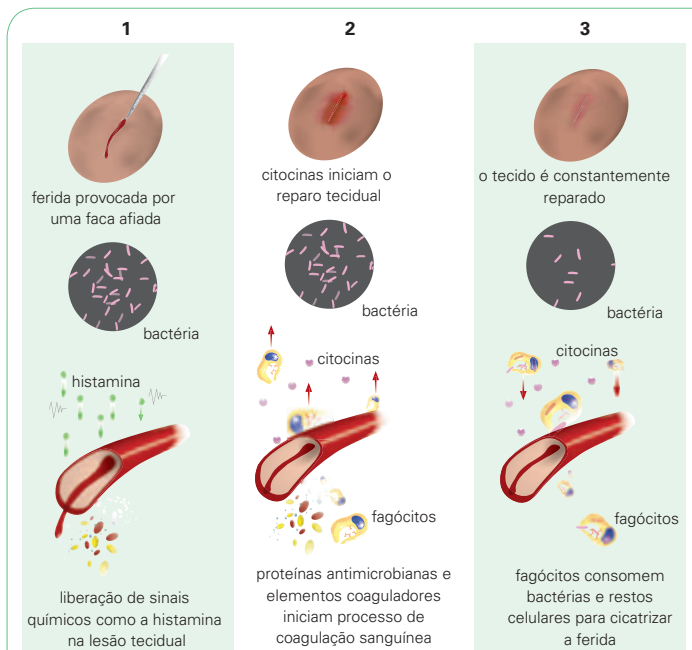
Ilustração esquemática das principais células de defesa humana. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

RESPOSTA INFLAMATÓRIA

O processo inflamatório é a segunda etapa da atuação do sistema imunitário. Esse mecanismo ocorre em decorrência da presença de um agente externo ou de um dano nos tecidos. Tem como principal função conter a infecção local, impedindo que os microrganismos se espalhem pelo corpo.

A resposta inflamatória tem início com os sinais enviados por células da área próxima ao tecido lesado pelo microrganismo. Várias células percebem os sinais, a exemplo dos mastócitos no tecido conectivo. Elas participam da reação inflamatória, liberando várias das moléculas acumuladas no seu citoplasma (grânulos citoplasmáticos) para a matriz, como a histamina, que atua sobre capilares sanguíneos próximos, os quais dilatam e se tornam mais permeáveis às células oriundas do sangue. Com a **vasodilatação** e consequente **aumento do fluxo sanguíneo local**, a área torna-se avermelhada. O aumento da permeabilidade vascular dá maior acesso a células vindas do sangue que vão participar da resposta inflamatória, além de responder pelo **inchaço local** decorrente do extravasamento do plasma através dos vasos dilatados. As substâncias liberadas no local inflamado provocam uma irritação nas terminações nervosas e esta é a principal causa de dor nas regiões inflamadas.

O passo seguinte é a migração das células de defesa (leucócitos na **diapedese**) através dos capilares sanguíneos até o local da lesão. Os **leucócitos neutrófilos** são os leucócitos atraídos para o local da inflamação com a percepção de sinais químicos liberados pelo tecido lesado. O pus que se forma nos processos de infecção bacteriana constitui-se de neutrófilos mortos que foram mobilizados para combater a inflamação, bactérias, proteínas e plasma extravasado. Já os monócitos, durante o evento inflamatório, podem realizar diapedese e se transformar em



Representação esquemática do processo inflamatório. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

PATTARAWIT CHOMPIPAT/DREAMSTIME

macrófagos, auxiliando no combate aos agentes invasores e na limpeza do local onde haja infecção, uma vez que essas células fagocitam restos celulares e neutrófilos que morreram durante o evento inflamatório.

Defesas específicas

Caso a defesa inespecífica não seja suficiente, os mecanismos de defesa específicos que formam o **sistema imunológico adaptativo** entram em atividade.

IMUNIDADE

Durante o desenvolvimento do indivíduo, o sistema imunitário sofre especializações, como a capacidade de produzir anticorpos. A imunidade pode ser dividida em dois tipos: a celular e a humoral.

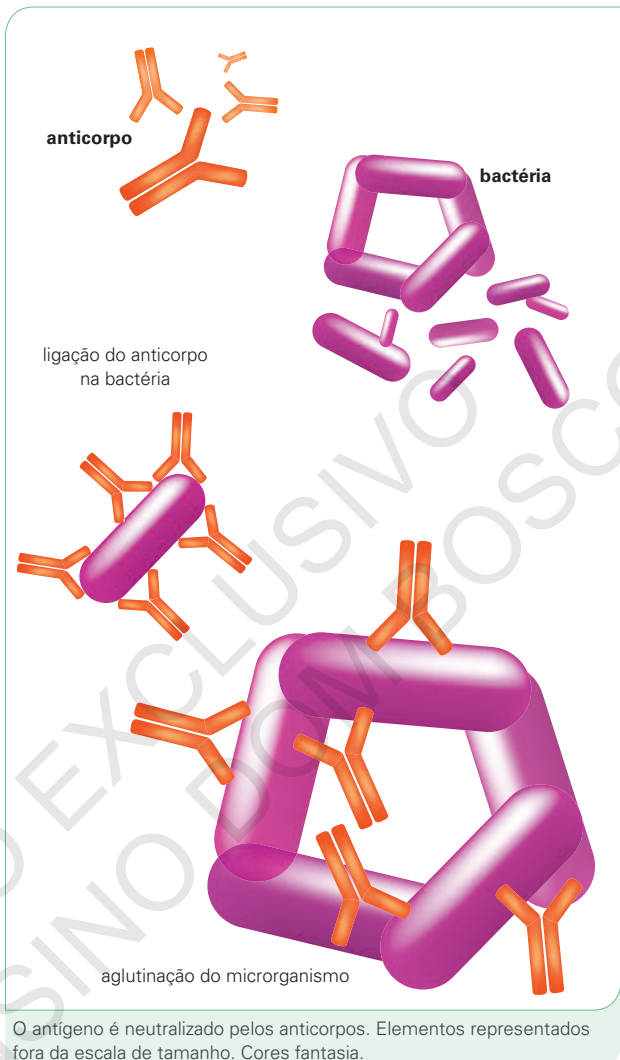
Imunidade celular

Na resposta imunitária, **antígeno** é o elemento reconhecidamente estranho ao organismo (exemplo: proteínas de membrana, parede celular de bactérias e fungos, pólen inalado etc.). O organismo responde por meio da produção e secreção de **anticorpos**, glicoproteínas que se ligam diretamente ao antígeno correspondente, neutralizando-o.

A imunidade celular é realizada principalmente por meio da atuação dos **linfócitos T**. Quando um antígeno invade o organismo, os macrófagos são capazes de reconhecer, sinalizar e fagocitar o invasor. Esses são identificados por células denominadas **linfócitos T auxiliares (CD4)**, também conhecidos como **células apresentadoras de antígenos**. Com o reconhecimento do antígeno, os **linfócitos T citotóxicos killer (matador CD8)** são ativados para combater diretamente o microrganismo invasor. Os linfócitos T citotóxicos não realizam fagocitose, mas secretam por exocitose moléculas que causam perfurações na membrana, levando à entrada de água e conseqüente lise (quebra) desse agente invasor. Os linfócitos T citotóxicos podem também reconhecer diretamente antígenos sem a necessidade de ativação pelos linfócitos T auxiliares, o que ocorre, por exemplo, na atuação dessas células diante de células cancerosas.

Além dos linfócitos T, a imunidade celular conta com a ação das células *Natural Killer*, ou **células NK**, e com os **linfócitos supressores**. As células NK são responsáveis pela destruição de células infectadas por vírus, enquanto os linfócitos supressores inibem a fase de ativação das respostas imunes.

O vírus da imunodeficiência humana (HIV, na sigla em inglês), causador da síndrome da imunodeficiência adquirida (sida ou aids), destrói células pertencentes a uma subclasse de linfócitos T, o que inviabiliza a resposta contra infecções. Isso torna os portadores dessa doença suscetíveis à infecção por agentes oportunistas, como a bactéria da tuberculose e *Pneumocystis carinii*, bactéria que reside inofensivamente nos pulmões de pessoas soronegativas para o HIV. Falhas no sistema imunitário



GRAPHIC_BKK1979/ISTOCK

podem também estar diretamente relacionadas com o desenvolvimento de câncer em alguns órgãos, como o sarcoma de Kaposi, tumor que afeta o tecido linfático.

Imunidade humoral

A imunidade humoral está relacionada aos **linfócitos B**. Trata-se de células especializadas na produção de anticorpos (imunoglobulinas) produzidas na medula óssea vermelha, onde também são maturadas. Os linfócitos B podem ser estimulados pelos linfócitos T auxiliares, desencadeando a diferenciação dos linfócitos B ativados em células denominadas plasmócitos, os quais vão produzir anticorpos específicos contra antígeno específico. Ao mesmo tempo que muitos linfócitos B se diferenciam em plasmócitos, outros se transformam em **linfócitos B de memória** (células de memória). Essas células se replicam quase indefinidamente, originando toda uma linhagem de células idênticas capazes de reconhecer o antígeno.

Caso a pessoa entre em contato com o mesmo agente infeccioso, essas células diferenciam-se em plasmócitos e desencadeiam rápida e intensa produção de anticorpos. Por isso, o organismo cria resistência contra certas doenças infecciosas.

As **imunoglobulinas** (anticorpos) podem ser divididas em cinco classes com base nas diferenças das seqüências de aminoácidos e representadas pela sigla **Ig**. As cinco classes e suas respectivas funções estão representadas no quadro a seguir.

Imunoglobulina	Função
IgG	Realiza todas as funções.
IgM	Lise (quebra) de microrganismos.
IgA	Importante na imunidade local.
IgD	Receptor para antígenos.
IgE	Envolvida em reações alérgicas.

A **resposta secundária**, aquela desencadeada na segunda exposição aos mesmos antígenos, é muito mais rápida e intensa que a resposta primária. Em geral, o sistema imunitário de uma pessoa leva cerca de uma semana para produzir anticorpos em nível suficiente para neutralizar determinados antígenos quando expostos a eles pela primeira vez. Na segunda exposição, o organismo é capaz de alcançar esse nível no prazo de apenas 6 a 12 horas. Sem tempo de se instalar e proliferar, o agente infeccioso não provoca novamente a doença. Alguns exemplos de doenças que criam imunidade são sarampo, catapora, caxumba e rubéola.

Habitualmente, doenças causadas por bactérias não ativam o sistema imune. A explicação mais comum para isso é o fato de antígenos bacterianos terem peso molecular menor que os antígenos virais e são, por isso, menos imunogênicos. Assim, a aquisição de células de memória não é estimulada, o que justifica a dificuldade de obtenção de certas vacinas, por exemplo, contra as bactérias hemófilo e meningococo, microrganismos frequentemente associados a meningites em crianças.

IMUNIZAÇÃO ATIVA E IMUNIZAÇÃO PASSIVA

O emprego da resposta imunitária revela-se um poderoso aliado da medicina no tratamento e na prevenção de doenças infecciosas. O processo de tornar o indivíduo protegido contra uma doença chama-se **imunização**, que pode ser ativa ou passiva.

Normalmente, as formas ativas são duradouras ou até permanentes, e as formas passivas de imunização são transitórias.

Imunização ativa natural e artificial

A **imunização ativa natural** consiste na produção de anticorpos pelo próprio organismo, ao entrar em contato com o antígeno de forma natural. Isso acontece, por exemplo, quando uma criança adquire caxumba ou sarampo. Uma vez curada a doença, a aquisição de células de memória deixa a imunidade permanente, e a doença dificilmente volta a acometer a mesma criança. Muitas vezes, o contato com o agente infeccioso é

suficiente para desencadear a produção de anticorpos e a aquisição de imunidade, mesmo que a doença não se manifeste.

Em outros casos envolvendo doenças com agentes altamente mutáveis, como o vírus da gripe, nosso organismo cria células de memória específica para o vírus com que teve contato. Porém, não produzimos imunidade para as mutações, e a chance de contrairmos novamente alguma outra gripe torna-se possível.

A **imunização ativa artificial** consiste na produção de anticorpos pelo próprio organismo quando estimulado por vacinas que possuam antígenos capazes de desencadear resposta imunitária sem causar a doença.

As vacinas apresentam função profilática ou preventiva e podem ser compostas de:

- **agentes infecciosos mortos:** vacina antioque-luche e contra a poliomielite;
- **agentes infecciosos vivos atenuados:** vacina antissarampo, *Bacillus Calmette-Guérin* – BCG (contra tuberculose), da febre amarela etc.;
- **toxinas atenuadas:** vacina antitetânica, antidif-térica etc.);
- **fragmentos do agente infeccioso:** vacina contra hepatite B.

Se uma pessoa vacinada contra certa doença entra em contato com seu agente causador, rapidamente produz anticorpos e o inativa; sua ação não é imediata, pois o organismo demora algum tempo para produzir anticorpos; seu efeito é duradouro, pois estimula a produção de células de memória.



Criança sendo vacinada.

Imunização passiva natural e artificial

Na **imunização passiva natural**, o indivíduo recebe anticorpos de outro indivíduo por via natural. Os principais mecanismos de transferência são a **gestação** e a **amamentação**, por isso, é importante amamentar o bebê com o leite materno durante o período recomendado.

Através da placenta ocorrem trocas de substâncias entre o sangue materno e o fetal, sem misturá-los. A passagem desses materiais acontece por difusão, através das membranas da placenta, portanto, limitada pelo peso molecular das substâncias

envolvidas. Moléculas muito grandes não atravessam a barreira placentária. A criança nasce com grande quantidade de anticorpos, que permanecem no seu organismo de 6 a 9 meses, importante período em que, associado ao aleitamento materno, dificilmente contrai certas doenças, como o sarampo.

O leite materno não é apenas o mais adequado alimento ao recém-nascido; trata-se, ainda, de um poderoso artifício de prevenção e combate às infecções que a criança recebe da mãe. O leite materno contém anticorpos específicos contra doenças que costumam acometer os recém-nascidos de cada espécie. Logo, os anticorpos contidos no leite de vaca não são úteis aos seres humanos para a imunização. Particularmente importante é o leite produzido nos primeiros dias após o parto, o **colostró**, aparentemente mais aguado, pois contém menos gordura. O colostro tem uma elevada concentração de anticorpos que protegem o tubo digestório da criança, constituindo eficiente barreira contra infecções intestinais. De fato, diarreias infecciosas são raras em crianças amamentadas com colostro.



Mãe amamentando bebê recém-nascido.

Na **imunização passiva artificial** o indivíduo recebe anticorpos de outro indivíduo por meio da inoculação de **soro hiperimune**, um tipo de gamaglobulina hiperimune com elevada concentração de determinado tipo de anticorpo. Esse soro é denominado **homólogo**, quando obtido de sangue humano, e **heterólogo**, quando produzido por outras espécies animais. Neste caso, podem ocorrer manifestações alérgicas, por ser produzido com proteínas de outra espécie.

O soro hiperimune possui função curativa ou terapêutica, porque inativa os antígenos. Como o organismo recebe os anticorpos prontos, tem ação imediata e seu efeito é passageiro, pois não estimula a produção de células de memória.

Na produção do soro antiofídico, certa quantidade de veneno de determinada espécie de serpente é inoculada no cavalo repetidas vezes. Depois de o cavalo estar suficientemente imunizado, coleta-se o sangue do animal e separa-se do plasma, do qual é purificada a fração contendo os anticorpos. No caso, interessam em especial os anticorpos específicos para o veneno da serpente. Em função da elevada especificidade dos anticorpos, cada soro só é eficaz contra determinado tipo de veneno, por isso é importante a identificação da espécie de serpente para que o acidentado receba o soro adequado.



Extração do veneno de uma serpente para a produção do soro antiofídico.

LEITURA COMPLEMENTAR

Os perigos do movimento antivacinas

A vacinação pode ser considerada uma das mais importantes conquistas da ciência, além de ser o meio mais seguro e eficaz de prevenir doenças infectocontagiosas e a estratégia de saúde pública mais eficiente de contenção de surtos por infecção. A queda nas taxas de vacinação de bebês e crianças no Brasil e no mundo é extremamente preocupante, porque promoveram o retorno de doenças que eram consideradas erradicadas, como o sarampo, que já tem mais de 300 casos confirmados nos estados de Roraima e Amazonas [2014].

Mesmo sendo uma prática ilegal no Brasil por afetar o Estatuto da Criança e do Adolescente, que torna obrigatória a vacinação, movimentos antivacinas cresceram muito no Brasil e no mundo nas últimas décadas. Os principais

argumentos do movimento, que envolve principalmente pessoas de maior poder aquisitivo, incluem mitos relacionados à incidência de autismo em crianças vacinadas, questionamento sobre a qualidade das vacinas e seus efeitos colaterais.

Mais que um gesto de cuidado com nossos filhos, o cumprimento do calendário de vacinação vai muito além dos benefícios individuais, pois é também um importante mecanismo de responsabilidade social, auxiliando na erradicação de doenças de impacto na saúde pública do país.

Sociedade Brasileira de Pediatria (SBP). Os perigos do movimento antivacinas. 18 jan. 2015. Disponível em: <<http://www.sbp.com.br/imprensa/detalhe/nid/os-perigos-do-movimento-antivacinas/>>.

Acesso em: jan. 2019. (Adaptado)

ROTEIRO DE AULA

SISTEMA IMUNITÁRIO HUMANO

DEFESAS INESPECÍFICAS

processo inflamatório

barreiras

físicas

químicas

DEFESAS ESPECÍFICAS

primárias

secundárias

imunidade celular

imunidade humoral

linfócitos T

auxiliares (CD4)

plasmócitos

linfócitos T
citotóxicos (CD8)

linfócitos B
de memória

IMUNIZAÇÃO

passiva

natural

leite materno

artificial

soro

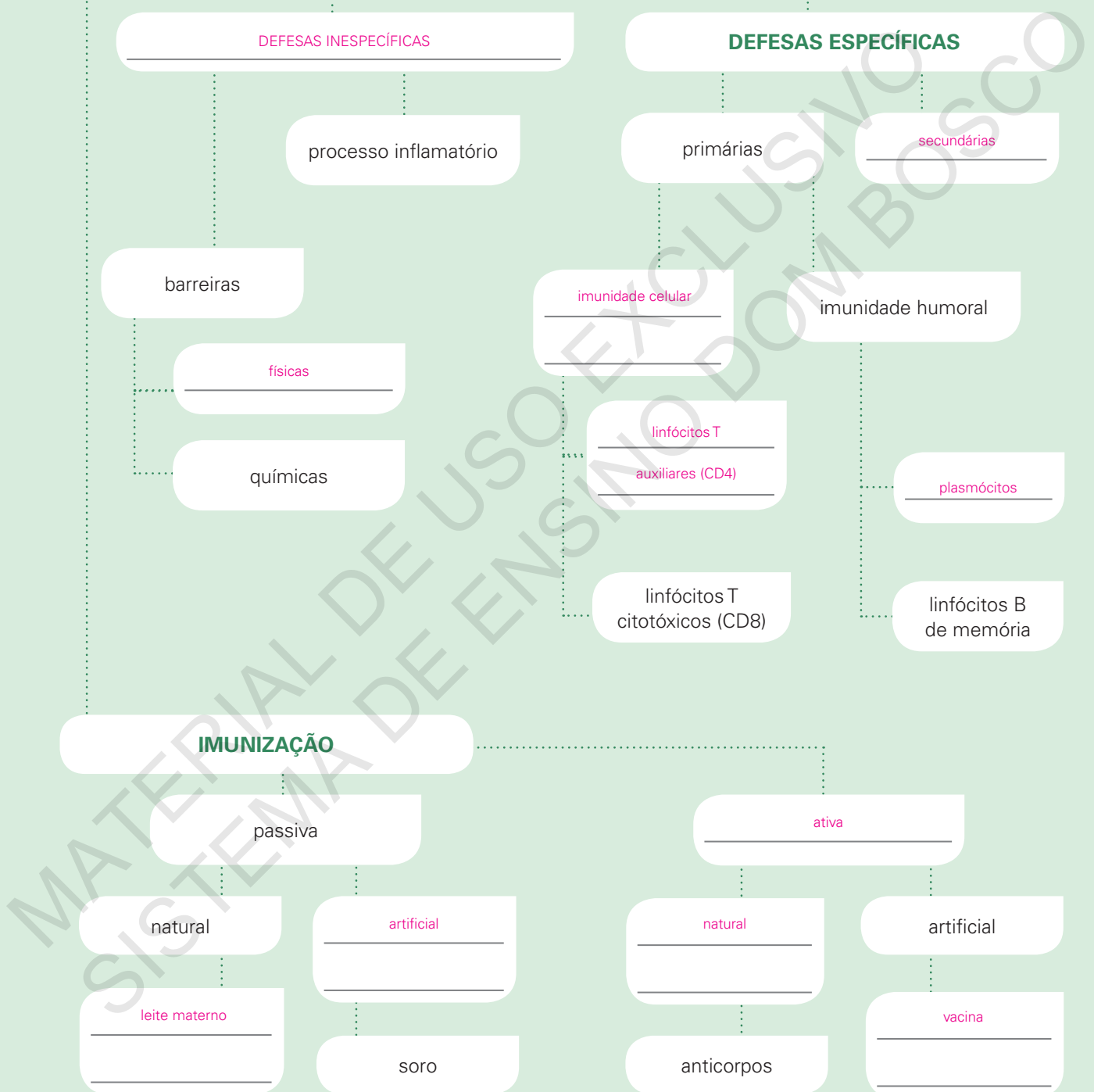
ativa

natural

anticorpos

artificial

vacina



EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. Fatec-SP – No Brasil, as mulheres assalariadas têm assegurado o direito a uma licença de 120 dias, período durante o qual podem amamentar regularmente seus filhos. No entanto, é recomendável que as empresas busquem meios de permitir que suas funcionárias estendam o período da licença. Isso porque, além dos propósitos afetivo e social, a amamentação é uma adaptação biológica importante para os mamíferos em geral, já que ela

- garante que as fêmeas engravidem novamente sem que ocorra a ovulação.
- garante que o filhote possa chegar à fase adulta sem doenças autoimunes.
- fornece as organelas citoplasmáticas, que formarão a bainha de mielina do filhote.
- fornece antígenos maternos, que permitem a digestão enzimática dos cátions Ca^{2+} .
- fornece ao filhote anticorpos maternos, que fortalecem o sistema imune dele.

A amamentação fornece nutrientes, água e anticorpos que fortalecem o sistema imunológico dos mamíferos.

2. UPF-RS

A primavera chegou!

Ah! O colorido das flores! Ah, a beleza das cores!

Pólen por todo lado e, junto, as alergias!

Atchim!

A alergia é o exemplo mais comum de reação de hipersensibilidade a determinadas substâncias estranhas ao organismo, os alergênicos, que são reconhecidos por tipos especiais de anticorpos.

O processo alérgico ocorre quando os alergênicos se ligam aos

- monócitos, que os fagocitam e, ao liberarem suas excretas, ativam o sistema imune do organismo.
- neutrófilos, que os fagocitam, por ação da histamina presente em seu citoplasma.
- mastócitos, que regulam a liberação de histamina, desencadeando a alergia.
- macrófagos, que os fagocitam, por ação da heparina e da histamina.
- plasmócitos, que liberam seus grânulos de histamina, desencadeando a alergia.

Os processos alérgicos são iniciados quando as substâncias alergênicas se ligam aos mastócitos. Uma vez ativados, esses leucócitos liberam histamina e essa glicoproteína desencadeia a reação alérgica.

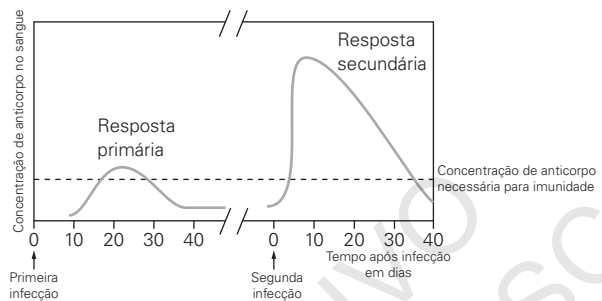
3. Uerj – Nas doenças autoimunes, ocorre um ataque generalizado das células do sistema imunológico contra tecidos do próprio corpo. Pesquisas mostram que, durante uma resposta autoimune, determinadas células do sistema imunológico se agregam em tecidos linfoides secundários para produzir anticorpos. Considerando esse processo, indique se a resposta imune pode ser classificada como humoral ou celular. Justifique sua resposta. Nomeie, ainda, as células do sistema imunológico responsáveis pela produção de anticorpos.

Imunidade humoral. Trata-se de uma resposta imune mediada por moléculas existentes no sangue. Células: linfócitos B.

4. FMP-RS

C4H15

O gráfico a seguir ilustra a resposta imunológica de um indivíduo frente a duas exposições a um agente infeccioso, em relação à produção de anticorpos.



Observando-se o gráfico, notam-se diferenças na resposta entre a primeira e a segunda infecções. A principal diferença entre as duas infecções e a sua justificativa correspondente são, respectivamente,

- a resposta imunológica à segunda infecção ocorreu mais rápida e intensamente, pois a primeira infecção gerou uma memória imunológica.
- a resposta primária não alcançou o nível de anticorpos capaz de reagir com o antígeno, pois somente no segundo contato as células de memória produziram os anticorpos.
- a resposta secundária foi muito maior, pois a carga do antígeno se acumulou ao longo das duas infecções.
- o pico de produção de anticorpos ocorreu mais cedo na primeira infecção, pois houve a adaptação do sistema imune.
- uma maior produção de anticorpos ocorreu na primeira infecção, pois acarretou a ativação de células de memória.

A resposta imunológica secundária é mais rápida e mais intensa devido à ação dos linfócitos de memória produzidos após a primeira exposição ao antígeno.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Interpretar modelos e experimentos para explicar fenômenos ou processos biológicos em qualquer nível de organização dos sistemas biológicos.

5. UFSC

© Joaquín Salvador Lavado (QUINO) TODA MAFALDA / Fotoarena

A busca por novas formas de imunização é uma constante na humanidade. Sobre este tema, assinale a(s) proposição(ões) correta(s).

- Vacinas são métodos de imunização ativa que contêm em sua composição anticorpos contra o agente infeccioso.
- Um antígeno pode ser caracterizado como uma molécula capaz de promover a ativação do sistema imune, sendo essa molécula endógena ou exógena.
- As vacinas contêm antígenos que induzem o organismo a produzir anticorpos específicos.

- 08)** Vacinas e soros são métodos de imunização que agem de forma semelhante na estimulação do sistema imunológico.
- 16)** Espera-se que uma vacina induza à produção de anticorpos inespecíficos.
- 32)** Alergias e doenças autoimunes são respostas imunes nocivas ao organismo.

02 + 04 + 32 = 38.

As vacinas contêm antígenos mortos, atenuados ou toxoides, isto é, toxinas atenuadas. As vacinas contêm antígenos que estimulam o sistema imunológico a produzir anticorpos específicos. Os soros contêm anticorpos prontos que atuam de forma terapêutica. As vacinas induzem à produção de anticorpos contra antígenos específicos.

6. UFPR

O recente surto do vírus Ebola na África Ocidental é considerado o pior da história. As primeiras células afetadas pelo contágio do vírus são exatamente aquelas fundamentais para a resposta imune do organismo, pois são as que primeiramente reconhecem que algo estranho entrou no corpo. A vacina VSV, em fase de testes, pode ajudar a combater futuros surtos de Ebola. Ela é produzida a partir de um vetor viral semelhante aos vírus da raiva. Neste vetor, foi removido o gene que codifica a glicoproteína do vírus VSV e inserido o gene que codifica a glicoproteína do vírus Ebola. A vacina tem, portanto, uma glicoproteína Ebola na superfície, mas não se comporta como o vírus Ebola.

Adaptado de: Scientific American Brasil, 29 jul. 2014.
Disponível em: <http://www2.uol.com.br/sciam/noticias/ebola.html>. Acesso em: 17 ago. 2014.

- a)** Que células do organismo, fundamentais para a resposta imune, são primeiramente afetadas pelo vírus Ebola?

As primeiras células do sistema imune afetadas pelo vírus Ebola são os monócitos, os macrófagos e as células dendríticas.

- b)** Qual a importância de a vacina possuir em sua superfície a glicoproteína do vírus Ebola?

A vacina contém o antígeno (glicoproteína) do vírus Ebola que induz o sistema imunológico humano a produzir anticorpos específicos contra o vírus e desenvolver células de memória.

- c)** Por que a vacina VSV não se comporta como o vírus Ebola?

A vacina VSV não foi produzida a partir do vírus Ebola e, portanto, não pode apresentar o comportamento desse vírus no organismo humano.

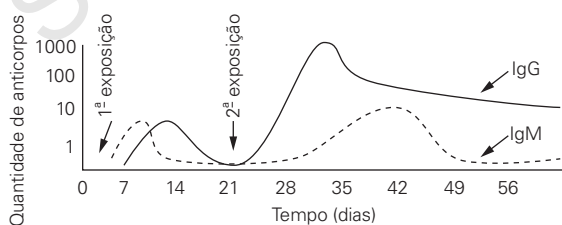
EXERCÍCIOS PROPOSTOS

- 7. FGV-SP** – O Instituto Butantan está na fase final dos testes da vacina contra a dengue, a qual imunizará as pessoas, com uma só aplicação, para os quatro sorotipos virais existentes.

Com base no aspecto imunológico, é correto afirmar que a vacina produzida pelo instituto Butantan contém

- a)** quatro tipos de antígenos que estimulam a produção de quatro tipos de anticorpos, na resposta imunitária primária.
- b)** um tipo de antígeno que estimula a produção de quatro tipos de anticorpos, na resposta imunitária primária.
- c)** quatro tipos de anticorpos que estimulam a produção de quatro tipos de antígenos, na resposta imunitária secundária.
- d)** quatro tipos de antígenos que estimulam a produção de um tipo de anticorpo, na resposta imunitária primária.

- 8. Udesc** – O gráfico mostra em dois momentos diferentes o comportamento de dois tipos de anticorpos (IgG e IgM), após a exposição do paciente a determinado antígeno.



Assinale a alternativa correta, em relação à informação e ao gráfico.

- a)** O gráfico mostra os resultados do tratamento de uma pessoa a uma picada de cobra ou de escorpião. Logo após o indivíduo receber o tratamento com soro antiofídico, começa a produzir os anticorpos (IgG e IgM). Na segunda exposição, o indivíduo produziu mais rapidamente anticorpos por já ter sido imunizado anteriormente.
- b)** Após a primeira exposição, ao mesmo antígeno, a quantidade de ambas as imunoglobulinas é praticamente igual; porém na segunda exposição, ao mesmo antígeno, a resposta na produção de IgG é menos intensa.
- c)** A resposta quantitativa na produção dos diferentes tipos de imunoglobulinas independe do número de vezes que o indivíduo recebeu o antígeno.
- d)** Na segunda exposição do paciente os macrófagos, as células responsáveis pela produção das imunoglobulinas IgG e IgM, já estavam ativos.
- e)** A resposta na segunda exposição do paciente foi mais rápida e mais intensa na produção de IgG devido à memória imunológica.

- 9. PUC-PR** – Leia o texto a seguir:

Produção de anticorpo

Os anticorpos desenvolvidos e testados clinicamente pela Recepta, com apoio da Fapesp, são capazes de se ligar de maneira muito específica a alvos tumorais, não tendo efeito sobre tecidos saudáveis. "A Mersana detém a tecnologia para criar o chamado ADC (*antibody-drug conjugate*). Ou seja, eles usam um tipo de ligante para unir o anticorpo a uma toxina. Esse imunocombinado entrega de maneira

muito específica a toxina às células tumorais!”, explicou José Fernando Perez, presidente da Recepta e ex-diretor científico da Fapesp.

Disponível em: <<http://revistapesquisa.fapesp.br/2015/07/20/anticorpo-brasileiro-sera-usado-para-criar-nova-droga-contr-a-cancer/>>.

A utilização de anticorpos monoclonais é vantajosa em relação a outros tipos de tratamentos contra o câncer, pois:

- a) dificulta a obtenção de linhagens de células capazes de produzir, em grande quantidade, os anticorpos para serem usados no tratamento do câncer.
- b) facilita a formação de memória pelos anticorpos, possibilitando prevenção ao câncer.
- c) facilita a diapedese, gerando mais facilmente a fagocitose das células tumorais mediada pelos mastócitos, os quais têm sua diapedese intensificada.
- d) acelera a destruição das células tumorais graças à associação dos anticorpos com toxinas específicas que se ligam aos lipídios da membrana.
- e) reduz os efeitos colaterais, uma vez que apresentam especificidade com as células tumorais.

10. EBMSP-BA – O sistema imunológico humano serve como uma proteção ou uma barreira que preserva o corpo contra seres indesejáveis ou substâncias estranhas, denominados antígenos, que podem invadir o corpo. As respostas imunológicas a esses antígenos constituem mecanismos de defesa essenciais para os organismos.

Sobre o assunto, explique a diferença entre a forma de ação da imunidade humoral em relação à imunidade celular.

11. Unigranrio-RJ

“Vacina contra dengue é recomendada pela OMS”

“Um comitê de especialistas da Organização Mundial da Saúde (OMS) recomendou nesta sexta-feira o uso da vacina contra a dengue, elaborada pela farmacêutica Sanofi Pasteur, nos países onde o vírus é endêmico. A decisão foi feita com base em um parecer do Grupo Estratégico Consultivo de Especialistas (Sage) da OMS, que se reuniu para discutir o assunto em Genebra. A vacina foi aprovada pela Anvisa em setembro e é a única registrada no mundo para combater a dengue.”

Adaptado de: <<http://veja.abril.com.br/ciencia/vacina-contr-a-dengue-e-recomendada-pela-oms/q5abr2016>>, 13h56 – atualizado em 6 maio 2016, 15h57)

No texto ao lado, a campanha recomendada pela OMS se baseia em tratamento por

- a) anticorpos produzidos em outros animais, que garantem a imunidade.
- b) imunidade adquirida através de via placentária.
- c) contato direto com o próprio vírus causador da doença.
- d) antígenos produzidos pelo próprio organismo.
- e) produtos constituídos por microrganismos mortos ou enfraquecidos.

12. CFTMG – O veneno de escorpião contém proteínas com ação lesiva sobre o sistema nervoso e outros constituintes envolvidos no processo da dor e da inflamação. No Ceará, após serem picadas por esse artrópode, algumas pessoas apresentaram melhora do sintoma de dor crônica articular causada pela chicungunha. Dessa forma, espera-se que, ao receber o soro antiescorpiônico, um paciente com essa doença não desenvolva sintomas como paralisia, fraqueza muscular, edemas e urticárias na pele.

Disponível em: <<http://blogs.ne10.uol.com.br/casasaudavel/2017/09/15/escorpioapesquisadores-brasileiros-investigam-se-veneno-pode-ser-util-oara-tratar-dores-dachicungunha/>>. Acesso em: set. 2017. (Adaptado)

Esses benefícios ocorrerão porque o paciente recebe

- a) anticorpos contra os compostos do veneno.
- b) toxina viral atenuada para síntese de antígenos.
- c) antígenos que neutralizarão a toxina escorpiônica.
- d) proteínas que estimulam a produção de anticorpos.

13. UEPB – Analise as proposições apresentadas sobre os processos de imunização.

- I. Existem dois tipos de resposta imune: a humoral, relacionada aos anticorpos presentes no sangue e na linfa, e a celular, que é mediada pelos linfócitos T.
- II. O princípio de atuação das vacinas difere do princípio dos soros. As vacinas desencadeiam um mecanismo de imunização ativa e os soros desencadeiam um mecanismo de imunização passiva.
- III. Na resposta imunitária secundária, o tempo para a produção de anticorpos é maior e a quantidade de anticorpos produzidos é menor, comparando-se com o que ocorre na resposta imunitária primária.

Assinale a alternativa que apresenta a(s) proposição(ões) correta(s).

- a) I, II e III
- b) apenas I e III
- c) apenas III
- d) apenas II e III
- e) apenas I e II

14. UFPR – A raiva é uma zoonose viral que se caracteriza como uma encefalite progressiva aguda e letal. Todos os mamíferos são suscetíveis ao vírus da raiva e, portanto, podem transmiti-la. É considerada um problema de saúde pública, principalmente em países em desenvolvimento. O uso da vacina e do soro são parte do programa de profilaxia da raiva.

Produto I: preparado a partir de plasma de equinos hipersensibilizados com vírus rábico.

Produto II: preparado a partir de vírus da raiva, cultivados sobre células. Após o crescimento em cultura de células, os vírus são concentrados, inativados e purificados.

Considerando os produtos I e II descritos, qual deles é um soro e qual é uma vacina? Justifique sua resposta.

15. Fepar-SC – Uma equipe da Universidade de Melbourne analisou os efeitos a longo prazo da remoção, na infância, das tonsilas faríngeas e palatinas. O estudo mostrou que essas cirurgias, frequentes em todo o mundo, estão associadas a um aumento de doenças respiratórias, infecciosas e alérgicas no decorrer da vida de quem passou pelo procedimento. Como as tonsilas palatinas em particular encolhem na idade adulta, presumia-se que estruturas como essas eram de pouca relevância. Atualmente já se sabe que elas estão estrategicamente posicionadas no nariz e na garganta, respectivamente, em um arranjo conhecido como anel de Waldeyer, funcionando como uma primeira linha de defesa imunológica.

Disponível em: <<http://arquivosdeori.org.br/conteudo>>. Acesso em: 27 jun. 2018. (Adaptado)

A respeito das estruturas mencionadas no texto e de sua relação com a imunidade, julgue as afirmativas.

- () As tonsilas, o apêndice cecal e o baço são considerados órgãos linfóides primários, constituintes do MALT (tecido linfóide associado à mucosa).
- () Os linfócitos B e T8 citotóxicos saem da medula óssea vermelha e passam por um período de maturação nas tonsilas, para se transformarem em células de memória e apresentarem antígenos aos linfócitos T4.
- () A remoção das tonsilas diminui a produção de células que apresentam antígenos e aumenta a produção de células dendríticas, causando reações de autoimunidade.
- () Os plasmócitos são importantes agentes da imunidade humoral participando ativamente da produção de anticorpos.
- () Uma importante função das tonsilas é suplementar o trabalho dos linfonodos drenantes e filtrar anticorpos que entram pelas mucosas e contaminam a linfa e os tecidos.

16. Fuvest-SP – Desde 2013, a cobertura vacinal para doenças como caxumba, sarampo, rubéola e poliomielite vem caindo ano a ano em todo o país, devido, entre outros motivos, I . Contudo, sabe-se que a vacina é o único meio de prevenir essas doenças e consiste na inoculação de II .

As lacunas I e II podem ser corretamente preenchidas por:

- a) I. à baixa incidência dessas doenças atualmente, não representando mais riscos à saúde pública. II. anticorpos que estimulam uma resposta imunológica passiva contra uma doença específica, em pessoas saudáveis
- b) I. a movimentos antivacinas, que têm se expandido pelo mundo. II. vírus patogênicos modificados em laboratório, causando a cura pela competição com os vírus não modificados da pessoa doente
- c) I. a movimentos antivacinas, que têm se expandido pelo mundo. II. antígenos do agente patogênico, estimulando uma resposta imunológica ativa, em pessoas saudáveis
- d) I. ao alto custo dessas vacinas, não coberto pelo sistema público, o que as torna inacessíveis à grande parte da população. II. antígenos do agente patogênico para garantir a cura em um curto espaço de tempo, em pessoas doentes
- e) I. à baixa incidência dessas doenças atualmente, não representando mais riscos à saúde pública. II. anticorpos específicos produzidos em outro organismo, que se multiplicam e eliminam o agente patogênico, em pessoas doentes

17. UFU-MG – Os casos de sarampo nos Estados Unidos chamam atenção para os direitos dos grupos antivacinas. Com o aperfeiçoamento e a popularização das imunizações, ele foi controlado na maioria dos países. Em dezembro do ano passado, no entanto, o sarampo ressurgiu. Até agora, no total, 121 pessoas foram identificadas com a doença. A origem do surto está associada ao crescente espaço conquistado por grupos adeptos do movimento antivacinas, avessos à imunização.

LOPES, A. D.; MELO, C. Surto de imprudência. *Revista Veja*, Editora Abril, edição 2413, ano 48, n. 7, 18 fev. 2015, p. 68-71 (adaptado).

- a) Qual é o agente etiológico e a forma de transmissão da doença em discussão pelo grupo adepto do movimento antivacinas?

- b) Descreva o mecanismo da imunização contra a doença por meio de vacina.

- c) Agentes de saúde afirmam que apenas os lactentes cujas mães já tiveram sarampo ou foram vacinadas possuem, temporariamente, anticorpos que conferem imunidade, geralmente ao longo do primeiro ano de vida. Por que isso é possível?

ESTUDO PARA O ENEM

18. Enem

C5-H17

Imunobiológicos:
diferentes formas de produção, diferentes aplicações



Embora sejam produzidos e utilizados em situações distintas, os imunobiológicos I e II atuam de forma semelhante nos humanos e equinos, pois

- conferem imunidade passiva.
- transferem células de defesa.
- suprimem a resposta imunológica.
- estimulam a produção de anticorpos.
- desencadeiam a produção de antígenos.

19. Enem

C5-H17

A contaminação pelo vírus da rubéola é especialmente preocupante em grávidas, devido à síndrome da rubéola congênita (SRC), que pode levar ao risco de aborto e malformações congênitas. Devido a campanhas de vacinação específicas, nas últimas décadas houve uma grande diminuição de casos de rubéola entre as mulheres, e, a partir de 2008, as campanhas se intensificaram e têm dado maior enfoque à vacinação de homens jovens.

BRASIL. “Brasil livre da rubéola: campanha nacional de vacinação para eliminação da rubéola.” Brasília: Ministério da Saúde, 2009. (Adaptado)

Considerando a preocupação com a ocorrência da SRC, as campanhas passaram a dar enfoque à vacinação dos homens, porque eles

- ficam mais expostos a esse vírus.
- transmitem o vírus a mulheres gestantes.
- passam a infecção diretamente para o feto.
- transferem imunidade às parceiras grávidas.
- são mais suscetíveis a esse vírus que as mulheres.

20. Enem

C4-H14

Tanto a febre amarela quanto a dengue são doenças causadas por vírus do grupo dos arbovírus, pertencentes ao gênero *Flavivirus*, existindo quatro sorotipos para o vírus causador da dengue. A transmissão de ambas acontece por meio da picada de mosquitos, como o *Aedes aegypti*. Entretanto, embora compartilhem essas características, hoje somente existe vacina, no Brasil, para a febre amarela e nenhuma vacina efetiva para a dengue.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Fundação Nacional de Saúde. Dengue: Instruções para pessoal de combate ao vetor. Manual de normas técnicas. Disponível em: <<http://portal.saude.gov.br>>. Acesso em: 7 ago. 2012. (Adaptado)

Esse fato pode ser atribuído à

- maior taxa de mutação do vírus da febre amarela do que do vírus da dengue.
- alta variabilidade antigênica do vírus da dengue em relação ao vírus da febre amarela.
- menor adaptação do vírus da dengue à população humana do que do vírus da febre amarela.
- presença de dois tipos de ácidos nucleicos no vírus da dengue e somente um tipo no vírus da febre amarela.
- baixa capacidade de indução da resposta imunológica pelo vírus da dengue em relação ao da febre amarela.

EXERCÍCIO INTERDISCIPLINAR

21. UEM-PR – A maior e mais importante artéria do corpo humano é a aorta. Sua porção ascendente possui em torno de 5 cm, e seu diâmetro D , em milímetros, usualmente é estimado em função da idade i , em anos, do indivíduo, pela fórmula $D(i) = 31 + 0,16i$. O diâmetro da porção descendente da aorta, também em milímetros, é estimado em função da idade i , pela fórmula $d(i) = 21 + 0,16i$.

Assinale o que for correto.

- A aorta é importante porque, por meio dela, o sangue é levado do ventrículo direito até o pulmão, onde é oxigenado.
- Pelas fórmulas dadas, quanto maior a idade do indivíduo, maiores devem ser os diâmetros das porções ascendente e descendente da aorta.

04) Pelas fórmulas dadas, a diferença entre os diâmetros da aorta ascendente e da aorta descendente deve ser sempre de 1 cm, independentemente da idade do indivíduo.

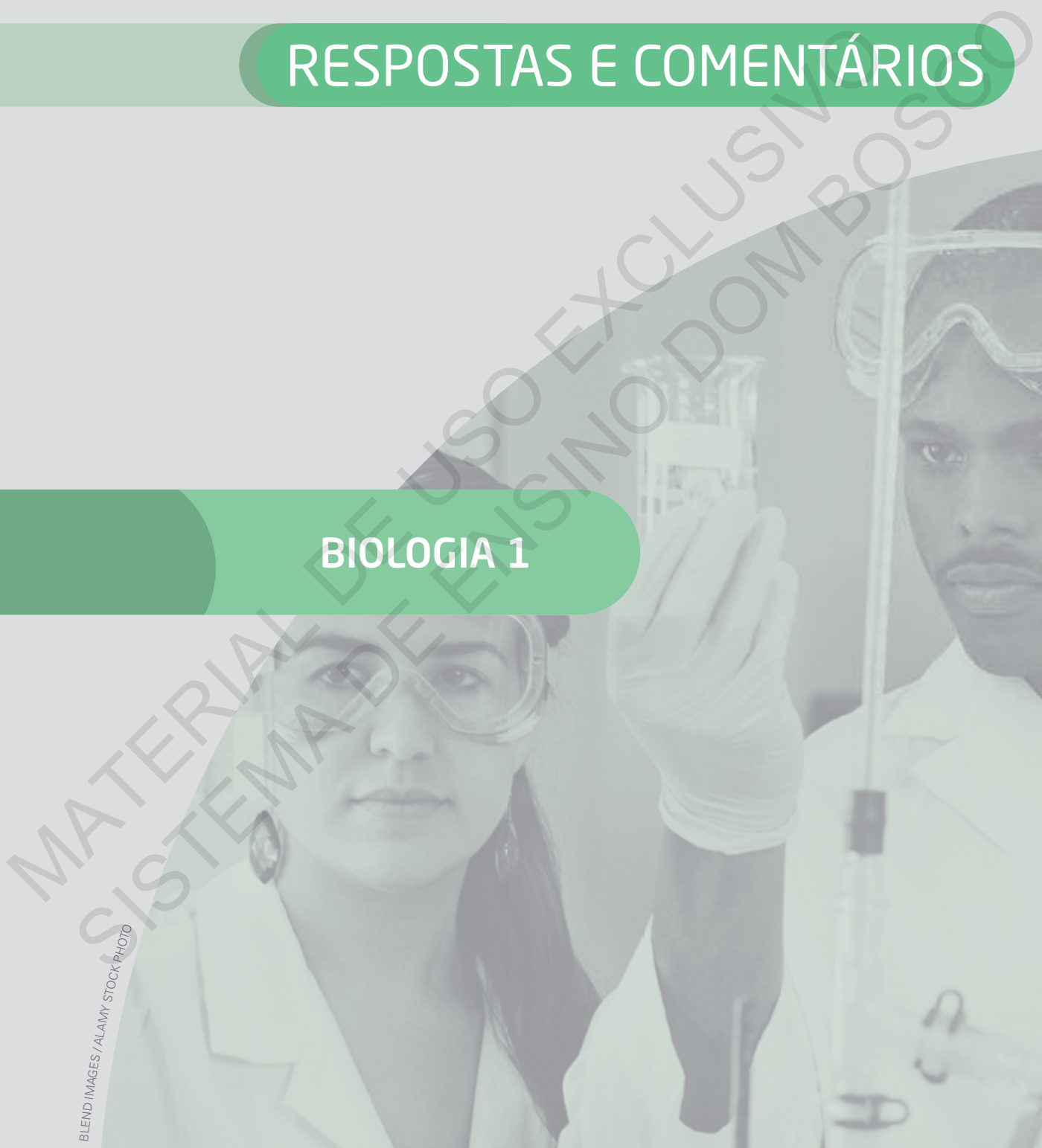
08) O sistema circulatório dos humanos é fechado, o coração tem quatro câmaras, e não ocorre mistura entre sangue venoso e arterial.

16) Os diâmetros das porções ascendente e descendente da aorta, em um indivíduo típico de 50 anos, devem ser, respectivamente, 39 mm e 29 mm.

RESPOSTAS E COMENTÁRIOS

BIOLOGIA 1

BLEND IMAGES / ALAMY STOCK PHOTO



APRESENTAÇÃO

BIOLOGIA

Em uma sociedade constantemente conectada e com acesso a informações sobre temas relacionados à ciência e tecnologia, o ensino de Biologia contemporâneo encontra o desafio de desenvolver a habilidade de interpretação dessas informações e aplicar o pensamento científico na resolução dos problemas.

A formação com base científica reconhece os fenômenos naturais do cotidiano descritos e apresentados nos meios de comunicação, bem como os temas referentes ao aquecimento global, biodiversidade, poluição, clonagem, biotecnologia, alimentos geneticamente modificados, epidemias resultantes da impotência da área de saúde frente à velocidade da globalização e, em contrapartida, os avanços da medicina.

A proposta do material de Biologia para o ensino pré-vestibular é gerar reflexão sobre as interações entre o saber sistematizado e os fatos do cotidiano, o que exige estímulo à leitura crítica das interferências científicas e tecnológicas na sociedade, sempre ressaltando a busca por melhor qualidade de vida, com base na relação entre saber adquirido, valores e atitudes. A obra respeita a legislação vigente. A disposição das habilidades no início de cada unidade facilita a análise dos objetivos do conteúdo, propiciando ampla visão da abrangência dessa área científica ao aluno.

O material contém informações e análises sobre diversos temas relacionados às exigências do Enem e dos principais vestibulares do país. O emprego de linguagem clara e precisa favorece a compreensão e a aproximação do tema. A estrutura e o projeto gráfico adequados aos objetivos pedagógicos contribuem para deixar a leitura mais agradável. A articulação entre os aspectos reais e culturais se faz presente em vários sentidos. Tudo converge para facilitar o ensino e a aprendizagem.

Os tópicos em sequência adequada, respeitando pré-requisitos para compreensão dos temas em estudo, iniciam com características particulares e aumentam gradativamente o enfoque, em benefício do aprendizado, enriquecido com análise de descobertas recentes, que desencadeiam o pensamento crítico direcionado ao desenvolvimento de autonomia. A adequação das atividades às competências e habilidades norteia os objetivos e o trabalho do docente em cada atividade. O embasamento teórico-prático faz frente a qualquer vestibular e ao Enem.

No final de cada segmento, as seções *Comentário sobre o módulo* e *Para ir além* indicam sugestões ao docente que deseje ir além com seus alunos.

CONTEÚDO

BIOLOGIA 1

Volume	Módulo	Conteúdo
1A	33	Casos especiais de mono-hibridismo: dominância incompleta
	34	Casos especiais de mono-hibridismo: codominância e alelos múltiplos
	35	Heranças dos grupos sanguíneos: sistema ABO
	36	Heranças dos grupos sanguíneos: sistema Rh e sistema MN
	37	Segunda lei de Mendel
	38	Determinação genética do sexo
1B	39	Heranças relacionadas ao sexo
	40	Pleiotropia e alelos letais
	41	Interações gênicas
	42	Ligação gênica e permutação
	43	Gametas parentais, recombinantes e mapas cromossômicos
	44	Biotecnologia e tecnologia do DNA recombinante

BIOLOGIA 2

Volume	Módulo	Conteúdo
2A	17	Poríferos e cnidários
	18	Platelmintos e nematódeos
	19	Anelídeos
2B	20	Moluscos
	21	Artrópodes
	22	Equinodermos

BIOLOGIA 3

Volume	Módulo	Conteúdo
3A	17	Sistema respiratório
	18	Sistema circulatório comparado
	19	Sistema circulatório humano
3B	20	Sistema urinário
	21	Excreção e homeostase
	22	Sistema imunitário humano

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

33 CASOS ESPECIAIS DE MONO-HIBRIDISMO: DOMINÂNCIA INCOMPLETA

Comentário sobre o módulo

Na herança de dominância incompleta (tipo de herança mono-híbrida), os genótipos heterozigotos têm fenótipo intermediário em relação aos alelos homozigotos, em razão da ausência de dominância entre os alelos. Dentro desse conceito, discutimos a probabilidade esperada dos fenótipos e genótipos que sejam característicos desse tipo de herança, bem como a relação da funcionalidade das proteínas produzidas por eles. O exemplo clássico da coloração das pétalas da flor maravilha (*Mirabilis* sp.) é apresentado para introduzir o conceito para o aluno. Para não tornar o assunto enfadonho, é importante demonstrar novos exemplos descobertos pela ciência.

Para ir além

O artigo “Dominante ou recessivo?”, da revista *Genética na Escola*, traz uma reflexão cautelosa a respeito dos conceitos ligados ao tema, incluindo o tema ausência de dominância. Disponível em:

<http://www.ciencias.seed.pr.gov.br/arquivos/File/sugestao_leitura/Genetica_na_Escola_72.pdf>.

Acesso em: mar. 2019.

O artigo “A seleção natural em ação: o caso das joaninhas” trata de dominância, recessividade, ausência de dominância e seleção natural. Disponível em:

<http://genoma.ib.usp.br/sites/default/files/atividades_interativas/genetica-na-escola-42-artigo-09.pdf>.

Acesso em: mar. 2019.

Exercícios propostos

7. B

A afirmativa II está incorreta, porque a proporção das flores maravilhas será 1 vermelha, 2 rosas e 1 branca. A afirmativa III está incorreta, pois as galinhas andaluzas são exemplos de dominância incompleta.

8. A

Os mono-híbridos apresentam proporção 1:2:1, sendo que o fenótipo intermediário, representado pelo heterozigoto, sempre será igual a 50% da prole (ou 2/4).

9. E

As flores cor-de-rosa têm genótipo $F^V F^B$. Portanto, cruzando $F^V F^B \times F^V F^B$, teremos 1/4 $F^V F^V$, 1/2 $F^V F^B$ e 1/4 $F^B F^B$.

10. A dominância incompleta caracteriza-se quando um indivíduo heterozigoto apresenta fenótipo intermediário em relação aos homozigotos. Como não existe dominância de um alelo sobre o outro,

a proporção fenotípica e genotípica será sempre 1:2:1 a partir do cruzamento entre heterozigotos. Um alelo produzirá proteína funcional; o outro, uma proteína não funcional.

11. A

A afirmativa III se refere a um exemplo de dominância completa.

12. B

É dominância incompleta pela presença de fenótipo intermediário, do genótipo ser heterozigoto e por apresentar proporção da geração F_2 igual a 1:2:1.

13. C

Pelo fato de F_1 ser 100% oval quando rabanetes com raízes redondas e longas são cruzados, sabemos que se trata de um organismo heterozigoto. Ao cruzarmos dois heterozigotos, teremos 1/4 de raízes redondas, 1/2 ovais e 1/4 longas. Isso porque sabemos que o exemplo se refere a um caso de dominância incompleta.

14. Dominância incompleta.

15. B

Como os heterozigotos apresentam plumagem azulada, no cruzamento entre dois indivíduos com esse genótipo, temos 1/4 de plumagem branca, 1/2 de plumagem azulada e 1/4 de plumagem preta.

16. B

Como os pais apresentam membros curtos, seus genótipos são Cc. Ao realizarmos o cruzamento, temos: $Cc \times Cc = 1/4 CC$; $1/2 Cc$; $1/4 cc$. Entretanto, das quatro possibilidades, uma é letal, logo apenas três possibilidades são viáveis. Entre estas, duas apresentam o fenótipo Cc.

17. As galinhas *frizzle* têm genes com herança do tipo dominância incompleta, pois, do cruzamento entre duas galinhas *frizzle* ($Ff \times Ff$), são produzidos 50% com o mesmo fenótipo, 25% com penas normais e 25% com penas que cairão (proporção 1:2:1). Além disso, é possível perceber que o fenótipo plumagem frizada é intermediário em relação aos demais e sempre será encontrado em 50% da prole, o que evidencia o tipo de herança citado inicialmente. Com base nesses argumentos, para conseguir produzir em massa galinhas frizadas é preciso cruzá-las entre si, uma vez que 50% da prole apresentará o mesmo fenótipo; cruzar as galinhas peladas com as de plumagem comum, porque 100% da prole será *frizzle*.

Estudo para o Enem

18. C

Como a cabra tem orelha élfica (EE), e o bode, orelha de rato (MM), temos o cruzamento EE × MM. Como resultado, 100% da prole terá genótipo ME, responsável por orelhas de tamanho intermediário.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Biologia para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Associar características adaptativas dos organismos com seu modo de vida ou com seus limites de distribuição em diferentes ambientes, em especial em ambientes brasileiros.

19. C

A herança em questão se refere à dominância incompleta, pelo fato de a geração F_2 apresentar um fenótipo intermediário e ter proporção aproximada de 1:2:1.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Reconhecer mecanismos de transmissão da vida, prevendo ou explicando a manifestação de características dos seres vivos.

20. E

A melhor forma de produzir galinhas andaluzas com fenótipo intermediário (isto é, de plumagem azul) é cruzar indivíduos que apresentam plumagem branca com os de plumagem negra, pois 100% da prole terá plumagem azulada.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Reconhecer mecanismos de transmissão da vida, prevendo ou explicando a manifestação de características dos seres vivos.

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO DO
SISTEMA DE ENSINO DOMINUS

34 CASOS ESPECIAIS DE MONO-HIBRIDISMO: CODOMINÂNCIA E ALELOS MÚLTIPLOS

Comentário sobre o módulo

Neste módulo, abordamos o conceito de codominância, com ênfase nas semelhanças e diferenças em relação à dominância incompleta. Foram apresentados também os sistemas tradicionalmente cobrados em exames de vestibular: sistema ABO, sistema MN, coloração de gados *shorthorn* e anemia falciforme. Discutimos ainda a doença de Von Willebrand, pouco conhecida entre leigos. Os alelos múltiplos com padrão de herança polialélica foram estudados com ênfase nos principais casos conhecidos: sistema ABO, coloração da pelagem de coelhos e formato de trevos. Assim, o aluno é capaz de compreender como definir a quantidade genotípica esperada com base em determinada quantidade de alelos presentes em uma população, além de identificar quando um caso específico se refere à polialelia.

Para ir além

A reportagem da Unifesp “Sangues raros: um universo em uma hemácia” trata da descoberta de novos sistemas sanguíneos e antígenos. Disponível em:

<<http://www.unifesp.br/noticias-antiores/item/2284-sangues-raros-um-universo-em-uma-hemacia>>.

Acesso em: mar. 2019.

Este artigo trata da percepção do conceito de polialelia entre alunos do 3º ano do Ensino Médio, a partir da teoria de Galperin. Disponível em:

<<http://sbenbio.journals.com.br/index.php/sbenbio/article/view/147/27>>.

Acesso em: mar. 2019.

Exercícios propostos

7. D

Os alelos A e S são codominantes, porque ambos expressam os respectivos fenótipos em indivíduos heterozigotos, o que torna incorretas as alternativas A, B e C. Além disso, como a mãe tem o traço falciforme (genótipo AS) e o pai é normal (genótipo AA), 50% dos filhos serão AA e 50% serão AS, sem apresentarem a anemia em sua forma severa (genótipo SS). A alternativa E está incorreta, porque há apenas dois alelos: A e S.

8. E

Como a rainha apresenta genótipo a1a2 e o macho é produzido por partenogênese, o qual tem genótipo a4, teremos como resultado: 50% a1a4 e 50% a2a4. Como há codominância entre os alelos a2 e a4, ambos serão expressos. Portanto, o resultado fenotípico será 50% com olhos marrons e 50% com olhos pérola e creme.

9. B

As alternativas A e C estão incorretas, porque são exemplos de dominância incompleta. A alternativa D está incorreta, pois se refere a um exemplo de polialelia, no qual há dominância hierárquica entre os alelos. Vale ressaltar que a grande diferença entre dominância incompleta e codominância ocorre porque, na primeira, um dos alelos produz uma proteína não funcional, enquanto na segunda ambos os alelos apresentam proteínas funcionais.

10. Como há 3 alelos em questão, existem 6 genótipos (resultado obtido aplicando a fórmula: $n(n + 1) / 2 = 3(3 + 1) / 2 = 6$). Existem ainda 4 fenótipos: AA e AC apresentam um único fenótipo; AB tem ambos os fenótipos; BB e BC apresentam um único fenótipo; CC tem um único fenótipo.

11. A

As alternativas B e C estão incorretas, porque há 50% de probabilidade de IX e X serem mesclados ou brancos (pais Rr e rr). A alternativa D está incorreta, pois não é possível saber ao certo o fenótipo, somente que há 25% de chance de ele ser branco, uma vez que os pais são heterozigotos.

12. E

Sabendo-se que o alelo C é dominante sobre o alelo P e que este é dominante sobre o B, temos que, no cruzamento II, o macho tem genótipo BB, e a fêmea, genótipo CB. Isso origina 50% CB e 50% BB. No cruzamento V, o macho tem genótipo PP, e a fêmea, genótipo BB. Isso gera 100% dos filhotes com genótipo PB. Portanto, o cruzamento do enunciado será: CB x PB, o que dará origem a 25% CP, 25% CB, 25% PB e 25% BB. Fenotipicamente, o resultado será 50% cinza (CB e CP), 25% preto (PB) e 25% branco (BB).

13. A

Para encontrar o número possível de genótipos na população, basta utilizar a fórmula $n(n + 1) / 2$. Como existem 7 alelos: $7(7 + 1) / 2 = 7(8) / 2 = 56 / 2 = 28$.

14. De acordo com os cruzamentos do quadro, a hierarquia fenotípica é negra > rajada > amarela. Dessa forma, supondo que a cor negra é determinada pelo alelo N, a cor rajada, pelo alelo R, e a cor amarela, pelo alelo A, na geração F₁ do cruzamento 1, todos os indivíduos têm genótipo RA. Na geração F₁ do cruzamento 3, todos os indivíduos apresentam genótipo NR. Portanto, ao cruzar indivíduos dessas gerações, teremos: NR x RA. Desse cruzamento originam-se 25%

NR, 25% NA, 25% RR e 25% RA. Com base nesses resultados, temos a seguinte proporção fenotípica: 50% negra e 50% rajada.

15. B

O quadro representa a relação de dominância em um caso de polialelia ou alelos múltiplos. Na linha 7, b^m domina b^p e expressa o fenótipo marrom. Na linha 3, b^p domina b^n e expressa o fenótipo pérola. Na linha 4, b^n domina b^c e determina o fenótipo neve. Na linha 6, b^n domina b e expressa o fenótipo creme. Temos, assim, a seguinte relação de dominância: $b^m > b^p > b^n > b^c > b$.

16. E

Haverá seis possíveis fenótipos, porque, além dos quatro mencionados inicialmente (selvagem, chinchila, himalaia e albino), ainda existem indivíduos chinchila com albino e chinchila com himalaia, pelo fato de existir codominância entre esses alelos.

17. Semelhanças: ambos apresentam um fenótipo diferente para o heterozigoto, e as proporções fenotípicas e genotípicas são iguais a 1:2:1. Diferenças: na dominância incompleta, o fenótipo do heterozigoto é intermediário quando comparado aos fenótipos homozigotos. Além disso, um alelo produz uma proteína funcional, enquanto o outro, uma não funcional. Na codominância, o fenótipo do heterozigoto é mesclado, de modo que ambos os alelos se expressam e produzem proteínas funcionais.

Estudo para o Enem

18. E

A alternativa A está incorreta, porque não há relação de dominância entre os alelos. As alternativas B e C estão incorretas, pois o alelo M produz apenas anticorpos anti-M, e o alelo N, anticorpos anti-N. A alternativa D está incorreta, porque heterozigotos produzem tanto anticorpos anti-M quanto anticorpos anti-N, o que é um exemplo de codominância.

Competência: Entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em

diferentes contextos.

Habilidade: Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.

19. D

A alternativa A está incorreta, porque se refere a um exemplo de polialelia, com três alelos. As alternativas B, C e E estão incorretas, pois há codominância entre os alelos IA e IB e porque estes são dominantes sobre o alelo i, responsável por originar o sangue tipo O.

Competência: Entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos.

Habilidade: Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.

20. D

A anomalia em questão é um exemplo de codominância, em virtude de a doença atingir igualmente ambos os sexos e em razão de indivíduos heterozigotos apresentarem um fenótipo diferente quando comparados a indivíduos homozigotos.

Competência: Entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos.

Habilidade: Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.

35 HERANÇAS DOS GRUPOS SANGÜÍNEOS: SISTEMA ABO

Comentário sobre o módulo

Neste módulo, discute-se a constituição sanguínea, incluindo a descoberta do sistema ABO, bem como sua importância clínica para as transfusões sanguíneas. As bases genéticas do sistema ABO – como os alelos, o tipo de herança – e sua importância forense também são abordadas. Apresenta-se também como é feita a tipagem sanguínea, procedimento crucial para reconhecimento dos tipos sanguíneos.

Para ir além

O texto “A nova luz do sistema ABO”, da Agência Fapesp, trata das novas variantes do sistema ABO em pessoas com leucemia. Disponível em:

<<http://agencia.fapesp.br/nova-luz-no-sistema-abo/8466/>>.

Acesso em: mar. 2019.

Exercícios propostos

7. B

Considerando que o paciente seja do tipo sanguíneo A, ele teria chance de receber sangue compatível apenas do indivíduo 1, por ser do tipo A também, e do indivíduo 5, por ser do tipo O, que é doador universal. Levando em conta que havia 5 indivíduos disponíveis e apenas 2 deles são compatíveis, a probabilidade de receber sangue compatível é $\frac{2}{5}$, isto é, 40%.

8. B

A alternativa A está incorreta, porque pessoas com genótipo ii são do grupo sanguíneo O e, portanto, apresentam aglutininas anti-A e anti-B. Dessa forma, só poderão receber sangue do mesmo grupo, isto é, grupo O. A alternativa B está correta, porque $I^A i \times I^B i = 25\% I^A I^B$, 25% $I^A i$, 25% $I^B i$, 25% ii. A alternativa C está incorreta, porque cada pessoa apresenta apenas dois alelos no mesmo locus. A alternativa D está incorreta, porque pessoas do grupo sanguíneo O apresentam genótipo ii. O cruzamento ii x ii gera 100% de filhos com o mesmo genótipo e estes farão parte do mesmo grupo sanguíneo que os pais (sangue O). A alternativa E está incorreta porque pessoas com alelos I^A e I^B são do tipo sanguíneo AB e apresentam aglutinogênios A e B e nenhum tipo de aglutinina.

9. C

Se o homem é filho de mãe tipo O e apresenta sangue tipo B, significa que seu genótipo é $I^B i$. Sua esposa possui sangue tipo AB, isto é, genótipo $I^A I^B$. Ao fazer o cruzamento, temos: $I^B i \times I^A I^B = 25\% I^A I^B$, 25% $I^B I^B$; 25% $I^A i$; 25% $I^B i$. O sangue tipo B é representado por I^B , sendo que 25% são $I^B I^B$ e 25% são $I^B i$, totalizando 50% de probabilidade.

10. Janaína não é adotada, porque, embora os pais tenham tipo sanguíneo A, sabemos que ambos possuem genótipos heterozigotos pelo fato de ela e seu irmão Anderson apresentarem tipo sanguíneo O. Ao cruzarmos os genótipos dos pais, temos: $I^A i \times I^A i = 50\% I^A i$, 50% ii, o que explica corretamente o fato de Janaína e Anderson terem sangue tipo O, e Telma e Pedro terem sangue tipo A.

11. D

O pai deverá ser obrigatoriamente $I^A I^A$ ou $I^A i$ ou $I^A I^B$, para gerar uma filha com sangue tipo A, com uma mãe tipo O (genótipo $I^A i$). Entre as opções, a única possível de originar esse genótipo é o sangue tipo AB.

$I^A I^B \times ii = 50\% I^A i$, 50% $I^B i$.

12. C

$I^A I^A \times I^A I^B = 50\% I^A I^A$ e 50% $I^A I^B$. Portanto, o indivíduo que morreu era do tipo A ou AB e, por isso, na primeira hipótese (tipo A), ele só poderia receber sangue dos grupos A ou O; na segunda hipótese (tipo AB), ele poderia receber sangue de todos os tipos. Portanto, ele só não poderia receber sangue AB ou B caso fosse do tipo sanguíneo A.

13. D

A afirmativa II está incorreta, porque, se um dos pais é do grupo sanguíneo A e o outro é do grupo sanguíneo B, seus filhos poderão ser do tipo sanguíneo A, AB, B, ou O.

14. O grupo sanguíneo do tipo O não apresenta aglutinogênios em suas hemácias e, portanto, não é aglutinado por nenhuma das aglutininas existentes nos outros tipos sanguíneos. Entretanto, ele produz aglutininas anti-A e anti-B em baixas concentrações e, assim, elas são diluídas no sangue do receptor, de modo que não há risco de aglutinação das hemácias.

15. D

Ao analisarmos o heredograma, é possível verificar que o pai do João possui genótipo $I^B i$, pelo fato de João ter irmãos dos tipos B e O. A mãe de Maria possui genótipo $I^A I^B$, pelo fato de ter irmãos com tipo sanguíneo A e B. Portanto, para que o filho de João e Maria tenha genótipo $I^A I^B$, obrigatoriamente João precisa ter o genótipo $I^B i$. Ao cruzar os genótipos de seus pais, temos: $I^B i \times ii = 50\% I^B i$ e 50% ii. Maria obrigatoriamente precisa ter genótipo $I^A i$: ao cruzar o genótipo de seus pais temos: $I^A I^B \times ii = 50\% I^A i$ e 50% $I^B i$. Levando em conta que ambos apresentam os genótipos necessários, temos: $I^B i \times I^A i = 25\% I^A I^B$, 25% $I^B i$, 25% $I^A i$ e 25% ii.

Portanto, para o filho do casal ter tipo sanguíneo AB (genótipo $I^A I^B$), basta multiplicar a probabilidade de João ter o genótipo $I^B i$ ($1/2$) pela probabilidade de Maria ter o genótipo $I^A i$ ($1/2$) e multiplicar pela probabilidade de o filho deles ser $I^A I^B$ ($1/4$) = $1/2 \times 1/2 \times 1/4 = 1/16$.

16. B

Para que sejam produzidos filhos do tipo sanguíneo O, B e AB, um deles tem de ser do tipo sanguíneo A e o outro do tipo sanguíneo B, tendo os seguintes genótipos: $I^A i$ e $I^B i$. No cruzamento entre esses genótipos, temos: 25% $I^A I^B$, 25% $I^A i$, 25% $I^B i$ e 25% ii , o que explica a existência dos filhos com tais fenótipos sanguíneos.

17. Considerando que ambos os casais têm filhos com tipos sanguíneos diferentes e que um casal possui o mesmo tipo sanguíneo, e o outro, tipos sanguíneos diferentes, um casal apresenta tipo sanguíneo AB (genótipo $I^A I^B$), gerando filhos A, B e AB, e o outro casal provavelmente é formado por um indivíduo do tipo A e um indivíduo do tipo B, ambos heterozigotos (genótipos $I^A i$ e $I^B i$), gerando filhos com tipos sanguíneos A, AB, B e O. Com base nessas informações, o filho adotivo pertence ao casal que tem o mesmo tipo sanguíneo (AB), o que justifica todos os filhos apresentarem fenótipos sanguíneos diferentes entre si.

Estudo para o Enem

18. A

Como a mãe apresenta tipo sanguíneo AB (genótipo $I^A I^B$), e o filho, tipo sanguíneo B, a única opção que não permite o homem ser pai da criança é o genótipo $I^A i$, pois, ao cruzar $I^A i \times I^A I^B$, teremos 50% $I^A i$ e 50% $I^A I^B$, ou seja, não é possível gerar tipo sanguíneo B.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conheci-

mentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Reconhecer mecanismos de transmissão da vida, prevendo ou explicando a manifestação de características dos seres vivos.

19. B

O sangue tipo A aglutina apenas na presença do soro anti-A. Portanto, refere-se ao lote II, de 25L.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Reconhecer mecanismos de transmissão da vida, prevendo ou explicando a manifestação de características dos seres vivos.

20. A

Bruno é o pai do bebê, porque ele tem genótipo $I^A i$ e Ana também. Cruzando os genótipos, temos: $I^A i \times I^A i = 50\% I^A i$ e $50\% ii$, sendo este último genótipo responsável pelo fenótipo sanguíneo O. Diego possui genótipo $I^B i$, Túlio apresenta genótipo $I^A i$, Rafael e Maurício apresentam genótipos $I^A I^B$. Portanto, nenhum outro genótipo, a não ser o de Bruno, é capaz de formar genótipo ii .

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Reconhecer mecanismos de transmissão da vida, prevendo ou explicando a manifestação de características dos seres vivos.

36 HERANÇAS DOS GRUPOS SANGUÍNEOS: SISTEMA RH E SISTEMA MN

Comentário sobre o módulo

As características fenotípicas e genotípicas dos sistemas sanguíneos Rh e MN são o tema deste módulo, bem como sua importância na compreensão da eritroblastose fetal e na identificação de pessoas por meio desses tipos sanguíneos. Utilizando o histórico familiar, estudos de aconselhamento genético ajudam casais a determinar as probabilidades de seus filhos terem doenças genéticas, como a eritroblastose fetal.

Para ir além

Além dos sistemas estudados neste módulo, o texto da Academia de Ciência e Tecnologia descreve os sistemas sanguíneos Kell e Kidd. Disponível em:

<http://www.ciencianews.com.br/arquivos/ACET/IMAGENS/Artigos_cientificos/3-Os_sistemas_de_grupos_sanguineos.pdf>.

Acesso em: mar. 2019.

Exercícios propostos

7. B

O sangue só aglutina na presença do antígeno. Portanto, trata-se do grupo sanguíneo AB⁻.

8. B

A alternativa A está incorreta, porque a mãe poderá produzir anticorpos anti-RH durante o contato com o bebê no momento do parto. A alternativa C está incorreta, porque é a partir da segunda gestação que a criança será atingida pela doença. A alternativa D está incorreta, porque a injeção é dada até 72 horas após o parto, em uma única dose. A alternativa E está incorreta, porque não há necessidade de transfusão de sangue.

9. E

Ao cruzar indivíduos tipo O com indivíduos AB, será impossível formar genótipos ii, responsáveis pelo fenótipo O.

10. A mãe da moça apresenta genótipo I^Ai, rr, e o pai apresenta genótipo I^Bi, Rr. Portanto, a moça tem genótipo ii, Rr. Ao realizarmos o cruzamento, temos: I^Bi x ii = 1/2 I^Bi e 1/2 ii; Rr x Rr = 1/4 RR, 1/2 Rr, 1/4 rr. Assim, para que a moça gere uma criança doadora universal, isto é, O⁻, basta multiplicar a probabilidade de ser tipo O (genótipo ii) pela probabilidade de ser Rh⁻ (genótipo rr): 1/2 x 1/4 = 1/8.

11. A

As alternativas B e C estão incorretas, porque o indivíduo 3 pode ter aglutinogênios A ou aglutinogênios B, mas não ambos. A alternativa D está incorreta, porque é impossível produzir genótipo

de sangue tipo O entre os pais doador universal e receptor universal. A alternativa E está incorreta, porque, se o indivíduo 6 for heterozigoto para o fator Rh, há possibilidade de nascerem filhos Rh⁻.

12. D

Quando a amostra de sangue reage com os soros, há aquele tipo sanguíneo, assim como o fator, determinando o tipo sanguíneo ABO e o fator Rh. Quando nenhum deles reage, é determinado o tipo sanguíneo AB e o fator Rh é negativo.

13. D

A afirmativa I está incorreta, porque podem nascer indivíduos com Rh positivo ou negativo, caso o indivíduo AB⁺ seja heterozigoto.

14. O sangue tipo O produz anti-A e anti-B e não possui aglutinogênios na membrana das hemácias. Portanto, tanto o pai quanto a mãe da criança apresentam sangue tipo O (genótipo ii). Dessa maneira, a chance de o casal ter uma criança com tipo sanguíneo O é de 100%. O pai tem fenótipo Rh⁻ e, portanto, tem genótipo rr. A mãe tem genótipo Rr, uma vez que tem fenótipo Rh⁺ e sua progenitora ter fenótipo Rh⁻. Para calcular a probabilidade de esse casal ter uma menina com sangue tipo O⁺ é preciso multiplicar as três probabilidades, ou seja, de ser menina (50%), de ter sangue O (100%) e de ser Rh⁺ (50%): 1/2 x 1 x 1/2 = 1/4.

15. C

A alternativa C está incorreta, porque não se trata de aglutininas, mas de aglutinogênios.

16. D

Visto que os genótipos dos pais são Rr, os genótipos possíveis gerados por esse cruzamento são: 25% RR; 50% Rr e 25% rr. Entre esses genótipos possíveis, 75% são Rh⁺, como os pais e os irmãos.

17. Carol apresenta os genótipos I^A, Rr, L^ML^N, e Bruno, os genótipos ii, rr, L^ML^M. Ao realizar os cruzamentos, temos: I^A x ii = 1/2 I^Ai, 1/2 ii; Rr x rr = 1/2 Rr, 1/2 rr; L^ML^N x L^ML^N = 1/2 L^ML^M, 1/2 L^ML^N. Portanto, para terem um filho com tipo sanguíneo O⁻, M, ele deverá ter os genótipos: ii, rr, L^ML^M. Logo, a probabilidade é: 1/2 x 1/2 x 1/2 = 1/8.

Estudo para o Enem

18. A

Para que o jovem seja filho verdadeiro, é preciso que ele tenha os genótipos ii, rr. Para isso, os pais devem ser I^Ai, Rr e I^Bi, Rr.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Reconhecer mecanismos de transmissão da vida, prevendo ou explicando a manifestação de características dos seres vivos.

19. B

Como a mãe apresenta sangue tipo Rh⁻ e o bebê apresenta sangue tipo Rh⁺, a injeção é dada à mãe para que as células sanguíneas do bebê que passam para o corpo dela sejam destruídas, na tentativa de prevenir que o próximo filho sofra eritroblastose fetal. Se as células sanguíneas do primeiro filho não forem destruídas, ela passará a produzir anticorpos anti-Rh, de maneira que atacará o próximo feto caso ele tenha sangue Rh⁺.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando co-

nhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Reconhecer mecanismos de transmissão da vida, prevendo ou explicando a manifestação de características dos seres vivos.

20. E

Para que a criança apresente sangue tipo O⁻, M seu genótipo será ii, rr, L^ML^N. Se sua mãe apresenta sangue tipo A⁻, M, isso significa que seu genótipo é I^Ai, rr, L^ML^M. Portanto, para originar uma criança com o genótipo inicial, entre as opções, o pai deve portar ao menos um alelo LN e ser heterozigoto para o fator Rh e para o sistema ABO.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Reconhecer mecanismos de transmissão da vida, prevendo ou explicando a manifestação de características dos seres vivos.

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO DO
SISTEMA DE ENSINO DOMINOS

37 SEGUNDA LEI DE MENDEL

Comentário sobre o módulo

Neste módulo, a segunda lei de Mendel foi discutida e relacionada com a meiose na produção de gametas com alelos independentes, uma vez que os genes se encontram em pares diferentes de cromossomos homólogos. De forma resumida, abordou-se, ainda, o conceito de ligação cromossômica ou *linkage*. Por fim, foram apresentadas algumas alternativas para se calcular o número possível de gametas com base em determinado genótipo di-híbrido, tri-híbrido ou poli-híbrido.

Para ir além

O texto da revista *Pesquisa Fapesp* sobre a história da Genética no Brasil enfatiza os principais avanços no país a partir das descobertas mendelianas. Disponível em:

<<http://revistapesquisa.fapesp.br/2016/09/23/raizes-da-genetica-no-brasil/>>.
Acesso em: mar. 2019.

Exercícios propostos

7. E

Todos os indivíduos da geração F_1 têm genótipo AaVv, apresentando cor laranja. Cruzando indivíduos laranja, temos: 1 AAVV, 2 AAVv, 2 AaVV e 4 AaVv (9 laranjas); 1 AAav e 2 Aavv (3 amarelos); 1 aaVV e 2 aaVv (3 vermelhos) e 1 aavv (branco).

8. B

Ao realizarmos os cruzamentos entre os genótipos dos pais heterozigotos, temos: AaVv \times AaVv, o que resultará em 1 AAVV, 2 AAVv, 2 AaVV e 4 AaVv (9/16 amarelas e lisas). Se a cada 16 indivíduos 9 apresentam esse fenótipo, em um total de 3 200 plantas, realizando um cálculo de regra de três simples, temos: 3 200 (9/16) = 1 800.

9. A

A alternativa B está incorreta, porque 2 aponta condição heterozigótica. A alternativa C está incorreta, porque o *locus* apontado em 3 é responsável pela altura da planta. A alternativa, D está incorreta, porque a cor da pétala será púrpura e a planta será alta. A alternativa E está incorreta, porque não são homólogos.

10. Como em ambas as situações ocorreu duplicação cromossômica e o indivíduo possui genótipo duplo heterozigoto, sua constituição genética será AAaaBBbb para os dois tipos celulares analisados.

11. E

A primeira lei de Mendel se refere à segregação de fatores responsáveis pelas características e a segunda, à segregação independente de cada um dos fatores, de maneira que cada característica

ocorre independentemente uma da outra. Portanto, a primeira lei ocorre em ambas as espécies porque os cromossomos se segregam, formando gametas. Entretanto, a segunda lei ocorre apenas na espécie 2 porque os alelos responsáveis pelas características estão em pares de cromossomos homólogos diferentes, o que permite que as características sejam transmitidas independentemente uma da outra.

12. E

A primeira afirmação está incorreta, porque há dominância de um alelo sobre o outro. A última afirmativa está incorreta, porque os pares de alelos dos genes estão localizados em cromossomos não homólogos, o que permite que as características segreguem independentemente e haja diversas combinações possíveis entre as características que serão expressas nos indivíduos.

13. B

A primeira lei de Mendel se refere à segregação de alelos, transmitindo características, e a segunda se refere à transmissão independente de cada alelo e, conseqüentemente, de cada característica. Portanto, a primeira lei está relacionada com a segregação dos cromossomos homólogos, que ocorre na anáfase I, e a segunda lei está relacionada à distribuição independente dos cromossomos na metáfase I.

14. O caso 2, que ocorre quando os dois *loci* estão no mesmo cromossomo, com permuta gênica entre eles. A proporção fenotípica 9:3:3:1 (apresentada no caso 1) só ocorre quando os dois *loci* estão em cromossomos diferentes.

15. C

Nas angiospermas, a meiose é esporica, produzindo megásporos que produzem gametófitos femininos, nos quais a oosfera e os núcleos polares têm constituição genética AB. Os micrósporos originam, por mitose, núcleos espermáticos de constituição ab, no tubo polínico. Assim, o zigoto tem genótipo AaBb, e o endosperma, AAaBBb.

16. D

A hemoglobina tem como função absorver e transportar oxigênio nas hemácias de animais vertebrados. Os cromossomos 16 e 11 são responsáveis pela formação de alfa globina e beta globina, respectivamente. Esses genes se encontram em cromossomos distintos e, por isso, segregam independentemente, de acordo com a segunda lei de Mendel.

17. A probabilidade é $3/512$. Como os pais são heterozigotos, isto é, apresentam o genótipo $liQqFfCc$, a probabilidade de a criança ser sensível ao PTC, sem queratose, com fenilcetonúria e canhota, separadamente, é, respectivamente, $3/4$, $1/4$, $1/4$ e $1/4$, e a probabilidade de nascer menina é $1/2$. Portanto, basta multiplicar os valores de todas as probabilidades: $1/2 \times 3/4 \times 1/4 \times 1/4 \times 1/4 = 3/512$.

Estudo para o Enem

18. B

Como os parentais são heterozigotos, apresentam genótipo $LlPp$ e têm fenótipo asa longa e corpo preto, ao realizar o cruzamento, temos: 1 $LLPP$, 2 $LLPp$, 2 $Llpp$ e 4 $LlPp$ (9/16 com asa longa e corpo preto). Fazendo uma regra de três simples, temos: 9, a cada 16, possuem o fenótipo dos pais. Portanto, em 288 serão 162.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Reconhecer mecanismos de transmissão da vida, prevendo ou explicando a manifestação de características dos seres vivos.

19. A

A descendência apresenta a proporção de 1:1:1:1, admitindo A (rosado) e a (amarelo) e M (grãos cheios) e m (grãos murchos). Além disso, essa proporção indica que os genes estão localizados em cromossomos diferentes. Trata-se, portanto, de um caso de segregação independente. A alternativa B está incorreta, porque não apresentam somente a caracte-

terística dominante. A alternativa C está incorreta, porque essa proporção será obtida do cruzamento entre uma planta $Aamm \times aaMm$ ou entre uma planta duplo heterozigota ($AaMm$) e outra duplo recessiva ($aamm$). A alternativa D está incorreta, porque a proporção seria 9:3:3:1. A alternativa E está incorreta, porque foi realizado cruzamento natural, sem melhorias genéticas, segundo o enunciado.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Reconhecer mecanismos de transmissão da vida, prevendo ou explicando a manifestação de características dos seres vivos.

20. D

Ângela é $Ddpp$ e Rodolfo é $DdPp$. Realizando o cruzamento, temos: para destro/canhoto ($Dd \times Dd$) = $1/4$ de ser canhoto (dd), para ser polidáctilo ($pp \times Pp$) = $1/2$ polidáctilo (Pp) e para ser menina: $1/2$. Basta multiplicar: $1/4 \times 1/2 \times 1/2 = 1/16$.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Reconhecer mecanismos de transmissão da vida, prevendo ou explicando a manifestação de características dos seres vivos.

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO DO
SISTEMA DE ENSINO

38 DETERMINAÇÃO GENÉTICA DO SEXO

Comentário sobre o módulo

Discutimos as principais diferenças entre os sistemas XY, ZW e XO, enfatizando os sexos heterogaméticos, as possíveis formas de gametas originados de cada sexo e a ocorrência desses sistemas em diferentes organismos. Apresentamos a importância de se reconhecer o corpúsculo de Barr e alguns exemplos de determinação de sexo não relacionada à Genética, como ocorre em quelônios, em virtude da alteração de temperatura do ambiente. Além disso, abordamos o balanço gênico e a probabilidade de ocorrência de determinado fenótipo sexual em espécies de moscas-das-frutas (*Drosophila melanogaster*).

Para ir além

O texto "O mistério dos animais que são metade macho, metade fêmea", da BBC News, aborda a presença de dois sexos em um mesmo indivíduo. Disponível em:

<https://www.bbc.com/portuguese/noticias/2015/09/150924_vert_earth_ginandromorfos_ml>.

Acesso em: mar. 2019.

A revista *Pesquisa Fapesp* publicou um artigo sobre a determinação do sexo em diversos organismos, incluindo o ornitorrinco, que, embora seja um mamífero, apresenta características do grupo das aves. Disponível em:

<http://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2018/03/058_cromossomos_265.pdf>.

Acesso em: mar. 2019.

Exercícios propostos

7. A

O corpúsculo de Barr corresponde a um cromossomo X inativado aleatoriamente logo após a fecundação, o que explica as duas últimas afirmativas estarem incorretas.

8. Besouros e gafanhotos apresentam o sistema XO, no qual os machos são heterogaméticos (com cromossomos XO) e as fêmeas apresentam cromossomos XX. Dessa forma, fêmeas produzem gametas com um conjunto de cromossomos autossômicos e um cromossomo X, enquanto machos geram um conjunto de cromossomos autossômicos apenas, ou com um cromossomo sexual X.

9. C

A afirmativa III está incorreta, porque, no sistema XY, a fêmea produz todos os cromossomos autossômicos e um cromossomo X no gameta, enquanto o macho gera todos os autossômicos e um cromossomo sexual, que pode ser X ou Y. Por esse motivo, é denominado sexo heterogamético. A afirmativa IV está incorreta, pois o macho

é heterogamético em razão de produzir todos os cromossomos autossômicos e um cromossomo sexual, que pode ser o X ou nenhum (0).

10. A

A afirmativa III está incorreta, porque fêmeas apresentam cromossomos XX, e machos, XO, sendo este heteromórfico. A afirmativa IV está incorreta, pois machos apresentam cromossomos ZZ e fêmeas, ZW.

11. A inativação do cromossomo X é denominada corpúsculo de Barr e se encontra em formato de grânulo na periferia do núcleo durante a interfase. A constituição cromossômica de gatos machos que apresentam pelagem manchada de amarelo e preto é 39, XXY.

12. C

A afirmativa 4 está incorreta, porque os ovócitos fecundados de abelhas produzem fêmeas diploides e ovócitos não fecundados geram, partenogeneticamente, machos haploides.

13. D

A alternativa A está incorreta, porque a quantidade de alelos homozigotos não influencia no fenótipo, uma vez que apenas um deles é expresso. A alternativa B está incorreta, pois o fato de o indivíduo ser originado por clonagem não promove deleção no cromossomo. A alternativa C está incorreta, porque a clonagem não influencia na forma pela qual o gene se expressa. A alternativa E está incorreta, pois a coloração da pelagem de gatos apresenta herança ligada ao X, ou seja, depende de um gene localizado no cromossomo X, e não de vários.

14. C

A cromatina sexual possibilita diferenciar células dos dois sexos, uma vez que as células femininas são de cromatina sexual positiva. Já as células masculinas são de cromatina sexual negativa.

15. D

A alternativa A está incorreta, porque é possível calcular a probabilidade. A alternativa B está incorreta, pois esses organismos apresentam sistema XY de determinação sexual. A alternativa C está incorreta, porque indivíduos dessa espécie são gerados por reprodução sexuada. A alternativa E está incorreta, pois machos são o sexo heterogamético.

16. D

A gônada do lado direito produz ovócitos, constituídos pelo cromossomo Z ou pelo W, uma vez que o sexo heterogamético é o feminino.

17. A probabilidade é $1/3 = 0,33$, por apresentar um cromossomo X e três conjuntos de cromossomos autossômicos.

Estudo para o Enem

18. B

A cromatina sexual está presente na região periférica do núcleo de células femininas, de forma condensada e em formato de grânulo. Ela é denominada corpúsculo de Barr e se refere a um cromossomo X inativado em mulheres.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Reconhecer mecanismos de transmissão da vida, prevendo ou explicando a manifestação de características dos seres vivos.

19. E

A alternativa A está incorreta, porque existem os sistemas ZW e XO. A alternativa B está incorreta, pois o estudo de determinação sexual pode ajudar a compreender os processos evolutivos que formaram determinada espécie. A alternativa C está incorreta, porque fêmeas do sistema XY apresentam apenas

cromossomos X. A alternativa D está incorreta, pois machos do sistema XY têm cromossomos X e Y.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Reconhecer mecanismos de transmissão da vida, prevendo ou explicando a manifestação de características dos seres vivos.

20. A

A alternativa B está incorreta, porque os machos são heterogaméticos no sistema XY. A alternativa C está incorreta, pois fêmeas do sistema ZW são heterogaméticas, por apresentarem células com cromossomos sexuais ZW. Por isso, elas determinam o sexo de suas proles.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Reconhecer mecanismos de transmissão da vida, prevendo ou explicando a manifestação de características dos seres vivos.

MATERIAL DE USO EDUCATIVO
SISTEMA DE ENSINO

39 HERANÇA RELACIONADA AO SEXO

Comentário sobre o módulo

Para elucidar o conceito de heranças relacionadas ao sexo, neste módulo são estudados exemplos de heranças ligadas ao cromossomo X, como o daltonismo, a hemofilia e a distrofia muscular de Duchenne. Também são abordados os tipos de herança limitada ao sexo, como a hipertricose auricular e a calvície.

Para ir além

Este estudo sobre a mosca-da-fruta (*Drosophila*) amplia o entendimento sobre a transmissão de caracteres ligados ao sexo. Disponível em:

<<https://www.bbc.com/portuguese/vert-earth-37014344>>.

Acesso em: mar. 2019.

Saiba como a terapia gênica é utilizada como tratamento de hemofilia. Disponível em:

<<https://www1.folha.uol.com.br/eqilibrioesaude/2018/07/novas-estrategias-contr-hemofilia-incluem-terapia-genica-e-prevencao-mensal.shtml>>.

Acesso em: mar. 2019.

Exercícios propostos

7. D

A alternativa A está incorreta, porque não é citado o tipo de cromossomo (sexual ou autossômico). A alternativa B está incorreta, pois não necessariamente é um gene autossômico. A alternativa C está incorreta, porque no heredograma A deveria haver ao menos um afetado.

8. A

A alternativa B está incorreta, porque mulheres heterozigotas não apresentam a doença, uma vez que o daltonismo é uma doença recessiva ligada ao cromossomo X. As alternativas C e E estão incorretas, pois se trata de uma mulher. A alternativa D está incorreta, porque a doença está ligada ao X e, se a mulher se casar com um homem daltônico, há 50% de chance de os filhos serem afetados.

9. C

O heredograma sugere que se trata de uma herança de um gene cuja expressão é influenciada pelo sexo, uma vez que o fenótipo se manifesta de forma diferenciada em homens e em mulheres.

10. Como são características que apresentam herança limitada ao sexo, ambos os sexos têm os alelos responsáveis por cada fenótipo. Entretanto, são expressos de forma diferente nos sexos masculino e feminino.

11. B

A alternativa A está incorreta, porque os indivíduos 1, 4, 5, 6 e 8 deveriam ser afetados para a doença ser restrita ao sexo. A alternativa C está incorreta, pois, para as filhas serem afetadas, precisam ter genótipo X^hX^h , sendo que uma cópia precisa vir do pai, de modo que ele obrigatoriamente deveria ser afetado. A alternativa D está incorreta, porque, como a hemofilia é uma doença recessiva ligada ao X, para o indivíduo 13 ser afetado pela doença, ele necessita ter o genótipo X + Y. Se ele não é afetado, conclui-se que ele apresenta alelo dominante.

12. D

No primeiro heredograma, há ao menos um indivíduo da primeira geração afetado e que gera filhos afetados. No segundo heredograma, apenas um indivíduo da segunda geração é afetado. Ou seja, são características desses dois tipos de herança.

13. C

A probabilidade de a mulher ser heterozigota é de $1/2$, e a probabilidade de ela gerar um indivíduo com a anomalia é de $1/4$. Portanto, a probabilidade total é de $1/2 \times 1/4 = 1/8$ (0,125 ou 12,5%).

14. A calvície é um distúrbio que apresenta herança influenciada pelo sexo. Isto é, ambos os sexos têm o gene responsável por esse fenótipo, entretanto, para que a mulher tenha calvície, ela deve apresentar genótipo homozigoto dominante. No caso dos homens, apenas uma cópia do alelo dominante é suficiente para a expressão desse fenótipo. Assim, é uma característica expressa de forma diferente pelos sexos.

15. A

A afirmativa I está incorreta, porque se refere a uma doença recessiva ligada ao cromossomo X, pelo fato de nascer uma mulher afetada com um filho afetado. A afirmativa IV está incorreta, pois se trata apenas de uma doença. A afirmativa V está incorreta, porque a herança apresenta padrão mendeliano.

16. B

A alternativa A está incorreta, porque há maior incidência no sexo masculino, pelo fato de os homens expressarem o fenótipo da doença tendo apenas uma cópia do alelo responsável. A alternativa C está incorreta, pois a seleção pode reduzir ou aumentar a variabilidade. Por exemplo: se indivíduos heterozigotos são mais adaptados a determinado ambiente, automaticamente, será possível aumentar a frequência

de todos os genótipos. Por outro lado, se indivíduos homocigotos recessivos forem menos adaptados ao ambiente, a seleção fará com que eles não sobrevivam. A alternativa D está incorreta, porque quem criou a teoria da seleção natural foi Darwin, e não Lamarck (que elaborou a teoria do uso e desuso).

17. $1/8 \times 1/8 = 1/64$

Filho com DM e míope = X^dY ; mm; homem com DM e visão normal = X^dY ; Mm; mulher sem DM e míope = $X^D X^d$; Mm. Os possíveis cruzamentos para DM são: $X^dY \times X^D X^d = 1/4 X^d X^d$; $1/4 X^D X^d$; $1/4 X^D Y$; $1/4 X^d Y$. Portanto, a probabilidade de nascer um menino sem DM é de $1/4 (X^D Y)$. Os possíveis cruzamentos para miopia são: $Mm \times mm = 1/2 Mm$ e $1/2 mm$. Portanto, há $1/2$ de probabilidade de a criança nascer com visão normal (Mm). A probabilidade de nascer um menino com visão normal e sem DM será de $1/4 \times 1/2 = 1/8$. A chance de esse fenômeno ocorrer nas próximas duas gestações é de $1/8 \times 1/8 = 1/64$.

Estudo para o Enem

18. A

Como os pais são saudáveis, somente os filhos do sexo masculino podem ser afetados. Em famílias cujo pai é acometido pela doença e cuja mãe é portadora do gene, 50% da descendência é afetada, independentemente do sexo. A doença apresenta herança recessiva ligada ao X.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Reconhecer mecanismos de transmissão da vida, prevendo ou explicando a manifestação de características dos seres vivos.

19. D

Não é recessivo, porque existem afetados em todas as gerações. Não está ligado ao Y, pois existem mulheres afetadas. Não é codominante, porque não fala a respeito do fenótipo, apresentam-se ambos simultaneamente. Portanto, é dominante ligado ao sexo, porque uma característica específica dessa herança é que todas as filhas de pais afetados também apresentem a doença.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Reconhecer mecanismos de transmissão da vida, prevendo ou explicando a manifestação de características dos seres vivos.

20. E

Como apenas homens de determinada linhagem são afetados, o gene que sofreu mutação se encontra no cromossomo Y.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Reconhecer mecanismos de transmissão da vida, prevendo ou explicando a manifestação de características dos seres vivos.

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO DO SISTEMA DE ENSINO

40 PLEIOTROPIA E ALELOS LETAIS

Comentário sobre o módulo

As alterações genéticas abordadas neste módulo se referem à pleiotropia, na qual um único gene interfere em fenótipos diferentes. São citadas doenças relacionadas aos genes pleiotrópicos, como a relação entre a pelagem de ratos (*Mus musculus*) e o grau de agressividade, a fenilcetonúria e a síndrome de Marfan. Os alelos letais podem causar morte do indivíduo, e seus efeitos são exemplificados por meio da acondroplasia, da raça de gatos Manx e da anemia falciforme.

Para ir além

Confira a matéria da *Revista da Biologia* sobre alelos letais no controle do *Aedes aegypti*. Disponível em:

<http://www.ib.usp.br/revista/system/files/Oliveira%20-%20Mosquito%20transg%C3%AAnico%20do%20paper%20a%20realidade_0.pdf>.

Acesso em: mar. 2019.

Estudos feitos no Laboratório de Genética Molecular do Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo (IB-USP) abordam as várias faces da síndrome de Marfan. Disponível em:

<<http://agencia.fapesp.br/as-varias-faces-da-sindrome-de-marfan/13119/>>.

Acesso em: mar. 2019.

Exercícios propostos

7. C

Ao cruzarmos indivíduos Aa x Aa, sabendo que o genótipo AA é letal, temos como resultado 2/3 Aa e 1/3 aa. Os respectivos fenótipos são branco e preto.

8. C

Em suma, o texto do enunciado diz que a expressão fenotípica de um gene pode envolver mais de uma característica. Temos, então, a definição de pleiotropia.

9. D

Como indivíduos que apresentam a doença são Dd e pessoas normais, dd, o genótipo letal é DD.

10. Provavelmente se deve a um gene pleiotrópico, isto é, um único gene é responsável por expressar a coloração da cebola e ainda produzir o fungicida.

11. A

São alelos letais em homozigose em virtude da proporção encontrada (2:1). Além disso, é um alelo dominante, porque a proporção de indivíduos anômalos é mais frequente que a de indivíduos normais.

12. C

A alternativa A está incorreta, porque se trata de um exemplo de dominância incompleta. A alternativa B está incorreta, pois se refere a um exemplo de alelos letais (indivíduos com genótipo M^LM^L não sobrevivem). A alternativa D está incorreta, porque se trata de um exemplo de alelo letal (indivíduos com genótipo DD não sobrevivem).

13. C

A afirmativa III está incorreta, porque o fenótipo uniforme é determinado pelo genótipo homozigoto recessivo. Portanto, é impossível que um indivíduo gerado pelo cruzamento entre pais uniformes apresente pelagem malhada.

14. a) Sim, ambos apresentam o alelo A1, uma vez que são heterozigotos.

b) AA1 × AA1 = 1/4 AA; 1/2 AA1; 1/4 A1A1. Portanto, a probabilidade de se gerar um indivíduo com a forma grave da doença, representada pelo genótipo A1S1, é de 25%.

15. B

A fenilcetonúria é um exemplo clássico de pleiotropia, na qual a mutação de um gene determina mais de uma característica simultaneamente.

16. E

Como os pais são acondroplásicos, apresentam genótipo Aa. Ao realizarmos o cruzamento, teremos 2 Aa e 1 aa. Não há, portanto, indivíduos AA, pois se trata de um genótipo letal. Logo, a proporção será de 2/3 e 1/3, ou 66% e 33%, respectivamente.

17. Do ponto de vista genético, as diferenças encontradas no gráfico podem ser explicadas por efeitos pleiotrópicos, porque é possível um gene estar relacionado a mais de uma característica.

Estudo para o Enem

18. B

Como gatos Manx apresentam genótipo heterozigoto, os genótipos serão 1/4 MM, 1/2 Mm e 1/4 mm, sendo M o alelo letal. Portanto, entre três possibilidades, já que MM não sobrevive, há duas em que os indivíduos apresentam ausência da cauda (genótipo Mm). A probabilidade de ser fêmea é de 1/2. Assim, $2/3 \times 1/2 = 2/6 = 1/3$. Multiplicando 1/3 por 8, o resultado será 2,6, valor que pode ser arredondado para 2.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Reconhecer mecanismos de transmissão da vida, prevendo ou explicando a manifestação de características dos seres vivos.

19. E

A alternativa A está incorreta, porque se trata de uma doença congênita. A alternativa B está incorreta, pois essas características são produzidas por um único gene. A alternativa C está incorreta, porque se refere à lipodistrofia. A alternativa D está incorreta, pois se trata de uma doença pleiotrópica, em que um único gene determina diversas características.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando co-

nhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Reconhecer mecanismos de transmissão da vida, prevendo ou explicando a manifestação de características dos seres vivos.

20. A

Como o pai apresenta a doença e a mãe é normal, teremos o cruzamento: $Hb^sHb \times HbHb$, originando 50% Hb^sHb e 50% $HbHb$. Portanto, não há chance de ser gerados indivíduos com genótipo Hb^sHb^s .

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Reconhecer mecanismos de transmissão da vida, prevendo ou explicando a manifestação de características dos seres vivos.

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO DO
SISTEMA DE ENSINO DOMESTICO

41 INTERAÇÕES GÊNICAS

Comentário sobre o módulo

Neste módulo são apresentadas as diferenças entre as interações recessivas e dominantes, segundo o conceito das interações gênicas epistáticas, com exemplos como a coloração das abóboras. Os genes complementares são explicados por meio de exemplos como a surdez humana congênita, a diversidade de cristas em galinhas e a coloração de cobras do milharal. No tema herança quantitativa explica-se a variação da pigmentação da pele e como calcular o número de fenótipos com base na quantidade de pares de alelos e no número de fenótipos extremos que determinada característica pode apresentar.

Para ir além

A reportagem da British Broadcasting Corporation (BBC) aborda a estatura dos seres humanos, comparando as variações em nível mundial e relacionando os possíveis fatores ligados a esses fenótipos. Disponível em:

<https://www.bbc.com/portuguese/noticias/2015/05/150522_vert_fut_mais_altos_ml>.

Acesso em: mar. 2019.

Nos estudos apresentados no artigo, a seleção natural está relacionada à epistasia, que colabora para a criação de conjuntos de características complexas interligadas. Disponível em:

<http://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2015/04/052-053_gen%C3%A9tica_230.pdf>.

Acesso em: mar. 2019.

Exercícios propostos

7. D

O gene W é epistático sobre B ou b, ou seja, ele inibe a manifestação dos pelos pretos e marrons. O indivíduo que tiver WW ou Ww consequentemente terá pelos brancos. O enunciado pede o resultado do cruzamento de indivíduos heterozigotos para os dois pares de genes.

8. A

$AaBb \times AaBb$ produzirá 9 A_B_ (vermelhas), 4 aa__ (brancas) e 3 A_bb (creme).

9. A

Indivíduos A_B_ apresentam coloração selvagem, indivíduos AAB_ apresentam coloração preta, indivíduos A_bb apresentam coloração laranja e indivíduos aabb são albinos.

10. $BbEe \times bbee = 1/4 BbEe$ (negro), $1/4 Bbee$ (dourado), $1/4 bbee$ (dourado), $1/4 bbEe$ (chocolate) = $1/4$ negro, $1/2$ dourado e $1/4$ chocolate. Multiplicando por 36, teremos, então: 9 pretos, 9 chocolate e 18 dourados.

11. E

Quanto maior o número de alelos dominantes, mais alta a planta será. Portanto, para um indivíduo apresentar a altura máxima deverá ter genótipos AABBCC. Para que uma planta apresente 28 cm, deverá, então, ter o genótipo AABbCc, já que cada alelo adiciona 2 cm.

12. $01 + 02 + 04 + 08 = 15$

A afirmativa 16 está incorreta, porque a pleiotropia influencia duas ou mais características.

13. E

Analisando o exercício, concluímos que A é epistático sobre B e sobre b, visto que onde há o alelo dominante A a cor sempre será branca. Portanto, o gene A é epistático (está inibindo B e b).

14. Os genes A e D são casos de dominância completa, enquanto o gene B é um caso de herança quantitativa, e o gene C é um caso de interação gênica, devido às proporções fenotípicas encontradas.

15. B

A alternativa B está incorreta, porque as flores brancas podem ser C_pp ou C_P_, sendo que o alelo C inibe o alelo P. Portanto, no cruzamento entre plantas que tenham o alelo P, podem surgir plantas com flores púrpura.

16. B

Todas as afirmativas estão corretas.

17. Cinco fenótipos.

O número de fenótipos é igual a $2n + 1$, em que n é o número de pares de alelos: $2(4) + 1 = 5$. Portanto, a característica poderá apresentar até cinco fenótipos diferentes, de acordo com seus alelos.

Estudo para o Enem

18. D

Como o alelo c inibe a produção de pigmentos, trata-se de epistasia recessiva. Além disso, ao cruzar $AaCc \times AaCc$, temos: 9 A_C_ (aguti), 3 A_cc e 1 aacc (albino) e 3 aaC_ (preto).

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Reconhecer mecanismos de transmissão da vida, prevendo ou explicando a manifestação de características dos seres vivos.

19. E

Como o alelo W inibe a produção de qualquer pigmento, trata-se de um exemplo de epistasia dominante.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Reconhecer mecanismos de transmissão da vida, prevendo ou explicando a manifestação de características dos seres vivos.

20. B

A anomalia citada no enunciado se refere a um tipo de interação gênica não epistática, pois há dois genes diferentes interagindo entre si, produzindo o fenótipo surdo.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Reconhecer mecanismos de transmissão da vida, prevendo ou explicando a manifestação de características dos seres vivos.

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

42 LIGAÇÃO GÊNICA E PERMUTAÇÃO

Comentário sobre o módulo

Neste módulo, verifica-se que a ligação gênica ocasiona duas possibilidades de posições dos alelos em *linkage* (*cis* e *trans*). Outros assuntos abordados são a permutação gênica e o padrão de segregação de alelos na formação de gametas, tanto para genes ligados quanto para genes não ligados. Estuda-se também a importância da variabilidade genética para a evolução das espécies diante das alterações ambientais.

Para ir além

Confira um estudo sobre estabelecer populações prioritárias para a conservação da variabilidade genética. Disponível em:

<http://docs.wixstatic.com/ugd/b703be_0a006769a9e34838974f42fe2c2f2886.pdf>.

Acesso em: mar. 2019.

Este artigo da agência Fapesp discute como a variabilidade genética em populações de *Plasmodium vivax* dificulta o controle da malária. Disponível em:

<<http://agencia.fapesp.br/variabilidade-genetica-do-parasita-dificulta-controle-da-malaria-indica-estudo/23454/>>.

Acesso em: mar. 2019.

Exercícios propostos

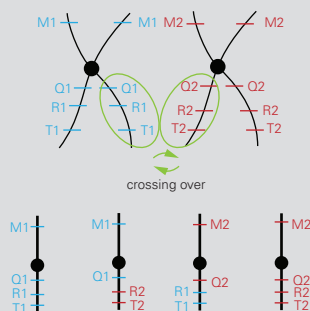
7. B
Como não ocorre *crossing over*, ao final da divisão as células podem apresentar somente as constituições parentais, acrescidas do cromossomo com os alelos C ou c. Portanto, terão os gametas apresentados na alternativa B.
8. D
A alternativa D está incorreta. O duplo heterozigoto apresenta constituição *trans*, isto é, Ab/aB produz, sem permutação, gametas Ab e aB.
9. A
Como a célula se encontra em divisão mitótica, as duas cromátides irmãs são geneticamente iguais, contendo os mesmos alelos. Por estarem em *linkage*, os pares de alelos se encontram no mesmo cromossomo.
10. A ligação gênica total ocorre quando os pares de alelos estão muito próximos e segregam sempre juntos, apresentando apenas dois tipos de gametas possíveis. Por outro lado, a ligação gênica parcial acontece quando os pares de alelos se encontram no mesmo cromossomo, mas estão relativamente distantes um do outro. Em razão dessa distância, há possibilidade de ocorrer permutação em *linkage* parcial, apresentando quatro tipos de gameta diferentes.
11. C
Na situação I, os gametas produzidos têm a mesma proporção (25%), o que caracteriza o processo de segregação independente. Na situação II, foram produzidos apenas dois tipos de gameta (50% cada), o que indica uma ligação gênica sem ocorrência de *crossing over*. Na situação III, os gametas apresentam proporções distintas, sendo dois maiores (parentais) e dois menores (recombinantes). Isso indica uma ligação gênica com *crossing over*, sendo os gametas Ab e aB recombinantes.
12. A
A afirmativa III está incorreta. Existe formação de quatro tipos de gameta em proporções iguais após o *crossing over*, obedecendo, assim, à segunda lei de Mendel. A afirmativa V está incorreta. Quando os genes estão ligados em *linkage* completo, eles não segregam de forma independente. Desse modo, não ocorre *crossing over* e eles permanecem juntos durante a meiose. Por isso, são transmitidos dessa forma, o que se deve principalmente ao fato de eles estarem muito próximos na mesma cromátide ou no mesmo cromossomo homólogo.
13. B
Como ocorre *crossing over* entre os *loci* A e B durante a meiose, a probabilidade de um indivíduo AaBb formar um gameta ab é de 50%. Considerando o par de genes Cc, que segrega independentemente, a probabilidade de esse gameta carregar o gene c é de 50%. Portanto, a probabilidade de obter o gameta abc é de $1/2 \times 1/2 = 1/4$.
14. Como houve *crossing over* apenas na região 2, são produzidos gametas recombinantes ABc, abC, ABC, aBc, AbC e abc. Isso porque a região 2 pode compreender o gene B ou C. Como não ocorre permutação na região 1, os únicos gametas que não são produzidos são Abc e aBC. Além disso, por se tratar de um caso de permutação entre os genes presentes no mesmo cromossomo, não são produzidos gametas parentais (ABC e abc), apenas gametas recombinantes.
15. E
São apresentados quatro genótipos e quatro fenótipos em *linkage*. Dois serão parentais (sem *crossing over*) e dois serão recombinantes (com *crossing over*), pois o duplo heterozigoto em *linkage* produzirá os seguintes gametas: AB/ab; Ab/aB. O duplo recessivo produzirá apenas ab/ab, genótipo igual ao de um gameta parental do duplo heterozigoto. Portanto, os genótipos serão AaBb

(parental), aabb (parental), Aabb (recombinante) e aaBB (recombinante).

16. C

A fêmea produzirá apenas gametas ve, enquanto o macho vai gerar gametas VE ou ve. Portanto, ao realizar o cruzamento, 50% apresentarão o genótipo VEve. Os outros 50% terão genótipo veve. Assim, metade (2 400) será do tipo selvagem, e a outra metade (2 400) terá asas vestigiais e corpo escuro.

17.



Estudo para o Enem

18. A

Genes ligados são aqueles que se encontram no mesmo cromossomo e segregam em conjunto, sem obedecer às leis de Mendel.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Reconhecer mecanismos de transmissão da vida, prevendo ou explicando a manifestação de características dos seres vivos.

19. D

A alternativa A está incorreta. O primeiro par de cromossomos apresenta genes ligados na posição *trans*. A alternativa B está incorreta. O segundo par de cromossomos apresenta genes não ligados e em posição *cis*. A alternativa C está incorreta. Os genes no primeiro par de cromossomos se encontram ligados, isto é, segregam juntos na formação dos gametas. A alternativa E está incorreta. Cada gene em questão se encontra em cromossomos não homólogos – e a permutação ocorre apenas entre cromossomos homólogos.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Reconhecer mecanismos de transmissão da vida, prevendo ou explicando a manifestação de características dos seres vivos.

20. C

Com base na permutação gênica, novas combinações de alelos aparecerão nos gametas, o que contribuirá no aumento da biodiversidade.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Reconhecer mecanismos de transmissão da vida, prevendo ou explicando a manifestação de características dos seres vivos.

MATERIAL DO SISTEMA DE ENSINO

43 GAMETAS PARENTAIS, RECOMBINANTES E MAPAS CROMOSSÔMICOS

Comentário sobre o módulo

Neste módulo, foram estudados os gametas parentais e recombinantes e também as diferenças na formação deles. O cálculo da taxa de recombinação entre genes e sua relação com genes ligados e não ligados, bem como a variação na posição dos genes dentro de um cromossomo também são analisados para melhor compreensão do aluno a respeito de mapas cromossômicos.

Para ir além

Estudo sobre altas taxas de variabilidade genética no vírus HIV. Disponível em:

<<http://agencia.fapesp.br/estudo-indica-que-hiv-ganha-diversidade-genetica-em-sao-paulo/18089/>>.

Acesso em: mar. 2019.

Breve história de como se deu o primeiro mapeamento cromossômico. Disponível em:

<<http://dreyfus.ib.usp.br/bio203/texto11.pdf>>.

Acesso em: mar. 2019.

Exercícios propostos

7. C

A alternativa A está incorreta, porque os genótipos em menores proporções são gametas recombinados. A alternativa B está incorreta, porque as proporções variam. A alternativa D está incorreta, porque estão em arranjo *cis*.

8. D

Se há 24% de taxa de recombinação, então 12% serão aB, 12% serão Ab, 38% serão AB e 38% serão ab.

9. D

Basta iniciar o mapeamento utilizando as taxas de recombinação em ordem decrescente. Assim, A e F estão em pontas opostas, E se encontra mais ao centro do cromossomo, D está na região central, mais próximo de F do que A, e E está mais próximo de A.



b) Não houve descendentes com permutação entre os genes M e P, porque provavelmente eles se encontram muito próximos.

11. D

A afirmativa I está incorreta, porque ocorrem em proporções iguais e são caracterizados pelo arranjo *cis*. A afirmativa IV está incorreta, porque o fenótipo é determinado pelos gametas masculinos e femininos, respectivamente, não somente do espermatozoide.

12. E

Como estão em posição *trans*, isso quer dizer que o macho apresenta genótipo De/dE e que os gametas parentais (De e dE) são gerados em maior proporção. Os gametas recombinantes (DE e de) são gerados a partir de permutação (*crossing over*). Sendo 28 UR a distância entre os genes, serão gerados 28% de gametas recombinantes, ou seja, 14% de gametas DE e 14% de gametas de. Portanto, é esperado que sejam produzidos 14% de gametas DE.

13. E

Quanto maior for a distância, maior será a taxa de recombinação entre os genes. Portanto, a taxa de permutação entre os genes A e B é de 20% e entre os genes B e C é de 5%.

14. Em 1, encontra-se o gene *clang*, em 2, o gene *binor*, em 3 o gene *fong*, e em 4 o gene *ebrac*.

15. B

Como a frequência de permutação é 20%, então 10% se referem ao genótipo em questão. Portanto, se a cada 100 indivíduos 10 apresentaram esse genótipo, em 200 indivíduos, o total é de 20 indivíduos.

16. D

A alternativa A está incorreta, porque as proporções não condizem com as esperadas pela segunda lei de Mendel. A alternativa B está incorreta, porque distam em 18%. A alternativa C está incorreta, porque o arranjo é do tipo *cis*. A alternativa E está incorreta, porque ocorrem em percentual menor que os parentais.

17. a) A porcentagem de espermatozoides formados pelo duplo heterozigoto é $350 \times 4 = 1400$. O número de gametas não recombinantes é 1120 em 1400, isto é, 80%. Portanto, a taxa de recombinação é de 20%, havendo, então, a distância de 20 UMC entre os genes.

b) Se estivessem em arranjo *trans*, seria Ab/aB. Portanto, os gametas parentais seriam 40% Ab e 40% aB, e os gametas recombinantes seriam 10% AB e 10% ab.

Estudo para o Enem

18. C

A alternativa A está incorreta, porque a variação na proporção evidencia a permutação entre os cromossomos. A alternativa B está incorreta,

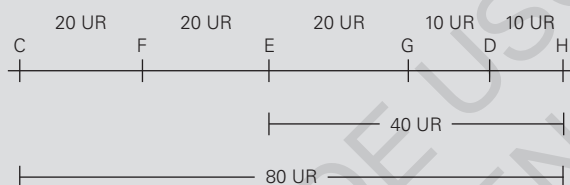
porque genótipos em maiores proporções se referem aos gametas parentais. A alternativa D está incorreta, porque a taxa de recombinação entre os genes é de 30%. A alternativa E está incorreta, porque os quatro fenótipos ocorreram nessas proporções devido à ligação gênica e permutação.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Reconhecer mecanismos de transmissão da vida, prevendo ou explicando a manifestação de características dos seres vivos.

19. E

Basta iniciar o esquema da maior distância entre os genes até a menor distância. Como os genes C e H apresentam maior taxa de recombinação, então se encontram em pontas opostas. Os genes E e H apresentam 40% de taxa de recombinação, então provavelmente o gene E se encontra no meio do cromossomo. O gene F está a 20 UR do gene C, assim como o gene E do gene G. Por fim, basta olhar as menores porcentagens e adicioná-las ao esquema.



Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Reconhecer mecanismos de transmissão da vida, prevendo ou explicando a manifestação de características dos seres vivos.

20. B

A alternativa A está incorreta, porque os genes não estão ligados devido à origem de quatro gametas diferentes. A alternativa C está incorreta, porque gametas originados da célula 1 podem ter olhos azuis e cabelos cacheados, ou olhos azuis e cabelos lisos, ou olhos castanhos e cabelos cacheados, ou olhos castanhos e cabelos lisos. A alternativa D está incorreta, porque gametas originados da célula 2 podem ter cabelos cacheados e olhos castanhos ou cabelos lisos e olhos azuis, obrigatoriamente, uma vez que os genes se encontram ligados. A alternativa E está incorreta, porque a célula 1 formará quatro tipos de gametas diferentes.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Reconhecer mecanismos de transmissão da vida, prevendo ou explicando a manifestação de características dos seres vivos.

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO DO
SISTEMA DE ENSINO DE

44 BIOTECNOLOGIA E TECNOLOGIA DO DNA RECOMBINANTE

Comentário sobre o módulo

Neste módulo foram abordadas algumas técnicas de biotecnologia, como o uso das enzimas de restrição e de ligação e suas relações com a clonagem gênica e produção de organismos transgênicos. Discute-se ainda a diferença entre organismos geneticamente modificados e organismos transgênicos, bem como os prós e contras do consumo de alimentos transgênicos.

Para ir além

A linhagem da cana-de-açúcar mais resistente é produzida por uma empresa de Piracicaba, com o intuito de combater lagartas e fungos por meio da inserção de um gene de *Bacillus* sp. Disponível em:

<<http://revistapesquisa.fapesp.br/2017/08/18/canaviais-mais-resistentes/>>.

Acesso em: mar. 2019.

O texto trata do projeto de lei de 2017 que desobriga fabricantes a informar na embalagem se o produto é transgênico. Disponível em:

<<https://jornal.usp.br/atualidades/alimentos-transgenicos-voltam-a-gerar-polemica/>>.

Acesso em: mar. 2019.

Exercícios propostos

7. A

A afirmativa III está incorreta, porque os plasmídeos são amplamente utilizados em todas as áreas da biologia molecular relacionadas às técnicas de clonagem. A afirmativa V está incorreta, pois a biotecnologia favorece diversos setores além da área da saúde; também é recorrente seu uso na agricultura, na indústria alimentícia (como produção de fermentados) etc.

8. D

O DNA é cortado, formando pontas cegas e coesivas que se pareiam na molécula de DNA do vetor através de ligações de hidrogênio. Esses fragmentos gerados pela enzima de restrição são capazes de ligarem-se às extremidades dos vetores que foram igualmente cortados pelas enzimas de restrição.

9. B

Através de engenharia genética é possível transferir determinado gene a partir de um vetor, podendo ser um plasmídeo ou bacteriófago, originando indivíduos geneticamente modificados.

10. Organismos geneticamente modificados são aqueles que apresentam alteração na sua própria

expressão gênica, sem receber nenhum outro gene proveniente de outros organismos. Já os organismos transgênicos recebem um ou mais genes de organismos diferentes de si, apresentando, na maioria das vezes, características impossíveis de serem expressas naturalmente.

11. D

O vetor tem como função transportar o gene de interesse e replicá-lo.

12. A

As enzimas de restrição protegem as bactérias contra os vírus, conforme estudos realizados na época de seu isolamento, conferindo um sistema de proteção a elas.

13. C

A identificação de genes é importante na produção de organismos geneticamente modificados que sejam resistentes à lagarta.

14. Basicamente, um gene é isolado utilizando uma enzima de restrição, que o recorta do genoma de origem, e a enzima de ligação, ou DNA ligase, o insere no plasmídeo de uma bactéria ou no genoma de um vírus. Esses organismos são denominados vetores, que, ao se reproduzirem, replicam as cópias do gene de interesse, que podem ser posteriormente utilizadas na transmissão de características a serem expressas em um outro organismo.

15. A

O DNA inserido no DNA do vetor sofrerá transcrição e tradução, produzindo a proteína de interesse.

16. E

Trata-se de transgenia, por ser um gene específico, transferido para um organismo diferente.

17. Uma vantagem na produção de organismos transgênicos é a redução de custos na produção de soja e milho. Caso sejam linhagens transgênicas, podem ser resistentes a pragas, o que automaticamente reduz o custo de produção. Uma desvantagem é a redução da diversidade genética na população pelo fato de serem selecionados apenas indivíduos com características vantajosas para a produção.

Estudo para o Enem

18. A

A partir da técnica de clonagem gênica foi possível produzir insulina sintética no laboratório,

promovendo um grande avanço no tratamento de diabetes.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Biologia para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Interpretar experimentos ou técnicas que utilizam seres vivos, analisando implicações para o ambiente, a saúde, a produção de alimentos, matérias-primas ou produtos industriais.

19. E

A partir do bloqueio da proteína amolecedora, o tomateiro pôde viver por mais tempo, demorando mais a apodrecer.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da biologia para, em situações problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Interpretar experimentos ou técnicas que utilizam seres vivos, analisando implicações para o ambiente, a saúde, a produção de alimentos, matérias-primas ou produtos industriais.

20. C

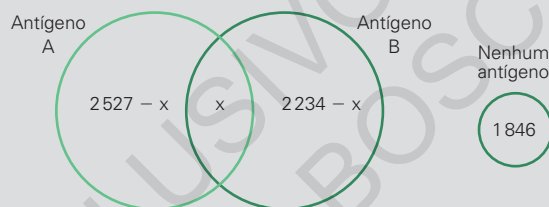
Como há ativação da expressão demasiada do músculo do atleta, é impossível ter controle sobre qual característica está sendo estimulada.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da biologia para, em situações problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Interpretar experimentos ou técnicas que utilizam seres vivos, analisando implicações para o ambiente, a saúde, a produção de alimentos, matérias-primas ou produtos industriais.

Exercício interdisciplinar

21. a) Para calcular a probabilidade de uma pessoa escolhida ao acaso ter os dois antígenos, é preciso encontrar o número de pessoas, dentre as 6 000 testadas, que estão na intersecção entre as que apresentam ambos os antígenos, segundo o diagrama de Venn a seguir:



$$2575 - x + x + 2234 - x + 1846 = 6000$$

$$-2x + x + 6607 = 6000$$

$$-x = 6000 - 6607$$

$$-x = -607$$

$$x = 607$$

$$P = 607/6000 = 0,1012 = 10,12\%$$

A probabilidade de uma pessoa apresentar os dois antígenos é de 10,12%.

b) O genótipo do indivíduo é $I^A I^B$.

$$I^A I^B \times ii$$

$$50\% I^A i, 50\% I^B i$$

Portanto, a probabilidade de esse indivíduo ter um filho com tipo sanguíneo A é de 50%.

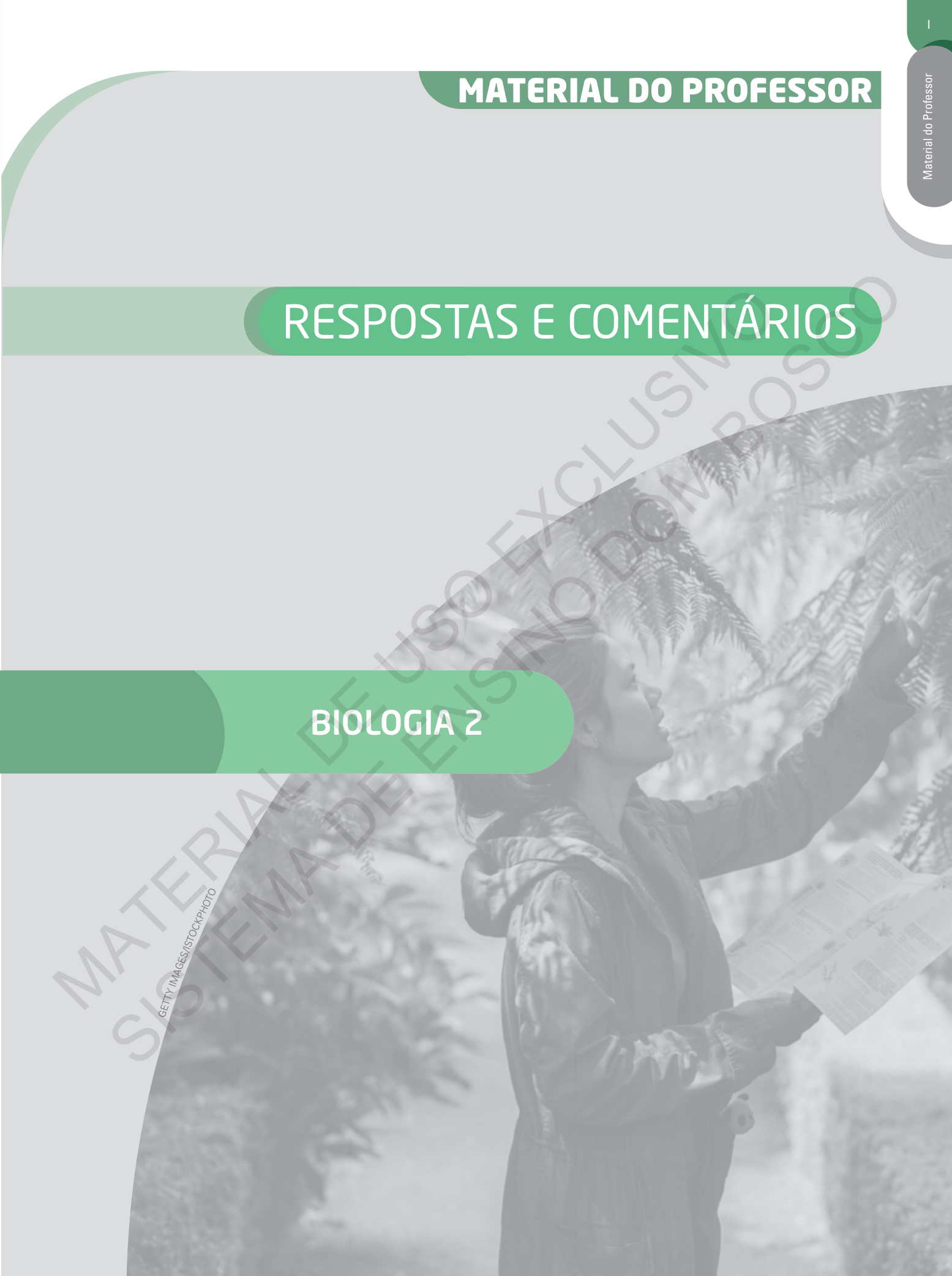
MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

RESPOSTAS E COMENTÁRIOS

BIOLOGIA 2

GETTY IMAGES/ISTOCKPHOTO

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO DO SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO



17 PORÍFEROS E CNIDÁRIOS

Comentário sobre o módulo

Os animais são organismos eucariotos, multicelulares e heterotróficos. A blástula é a novidade evolutiva compartilhada por todos os animais. O módulo apresenta o grupo dos poríferos, considerado o primeiro grupo animal que surgiu. São seres de organização simples, sésseis e quase todos marinhos. Não apresentam tecidos verdadeiros, tampouco órgãos e sistemas. Também são filtradores e dependem do fluxo de água para obter alimento e oxigênio.

É apresentado também o grupo dos cnidários, que são animais diblásticos, possuem cavidade digestória incompleta e sistema nervoso difuso ou não centralizado. Conhecidos pelo seu comportamento de defesa, os cnidários possuem duas formas corporais básicas, a medusa e o pólip.

Para ir além

Pesquisadores brasileiros descobriram um recife de coral associado a esponjas em rio da Amazônia. Disponível em:

<<http://agencia.fapesp.br/cientistas-descobrem-recife-oculto-pela-pluma-do-rio-amazonas/23116/>>.

Acesso em: fev. 2019.

Neste artigo é discutida a importância das áreas protegidas para a biodiversidade dos corais. Disponível em:

<<http://agencia.fapesp.br/biodiversidade-marinha-aumenta-em-areas-protegidas/25402/>>.

Acesso em: fev. 2019.

Espécie de coral invasor tem colonizado a costa brasileira e causado situações irrecuperáveis para o ecossistema. Disponível em:

<<http://agencia.fapesp.br/coral-invasor-da-costa-brasileira-apresenta-grande-capacidade-de-regeneracao/27769/>>.

Acesso em: fev. 2019.

Exercícios propostos

7. A

Os corais são cnidários coloniais que vivem em simbiose mutualística com algas fotossintetizantes do grupo das zooxantelas. Se a água se tornar turva, menos luz chegará até os recifes de corais, limitando o processo fotossintético realizado pelas zooxantelas.

8. E

As esponjas são animais aquáticos e não possuem tecidos verdadeiros. Podem apresentar espículas calcárias ou silicosas e fibras de espongi-na como elementos de sustentação do corpo do animal. São animais filtradores, alimentando-se

de partículas em suspensão na água, que entram pelos porócitos, células em forma de “tubo” ou de “rosca”; presentes na parede externa do corpo do animal. Por meio do batimento dos flagelos dos coanócitos, um fluxo contínuo de água é criado. Do meio externo a água entra pelos porócitos, chegando até a espongiocele, onde as partículas alimentares são capturadas (filtradas) pelos coanócitos. Da espongiocele a água volta ao meio externo através do ósculo.

9. a) As etapas F e E são as que podem ser revertidas, pois o texto informa que a espécie é capaz de se transformar do estágio de medusa para o estágio de pólip.

b) Dois folhetos embrionários, ou seja, são animais diblásticos (presença de ectoderme e endoderme); presença de um tubo digestório incompleto (apenas um orifício, a boca, está presente), possibilitando o início da digestão do alimento extracelularmente; células especializadas chamadas cnidócitos, que atuam principalmente na defesa e na captura de alimento.

10. a) (01), (02), (04) e (16).

b) 08) Incorreta. Nas esponjas asconoides, o trajeto da água é poro, átrio ou espongiocele, e ósculo.

11. D

Os coanócitos são células flageladas presentes nas esponjas que promovem o fluxo contínuo de água pelo animal, garantindo assim a oxigenação e a nutrição das demais células. O fluxo hídrico também contribui para a remoção de resíduos do metabolismo.

12. (04) e (08).

(01) Incorreta. Os cnidários, também chamados de celenterados, não possuem sistema circulatório, sistema respiratório nem sistema excretor.

(02) Incorreta. Os poríferos não possuem folhetos embrionários; não formam tecidos verdadeiros. Cnidários são diblásticos, ou seja, possuem dois folhetos embrionários (ectoderme e endoderme). Equinodermos são triblásticos.

13. D

Os poríferos ou esponjas são animais multicelulares que não formam tecidos ou órgãos verdadeiros. Não possuem um tubo ou cavidade digestória, portanto não têm boca nem ânus, apresentando apenas digestão intracelular. São animais aquáticos, sedentários, bentônicos e filtradores.

14. a) Os recifes de coral são formados pelos polípodos coloniais da classe dos antozoários, pertencentes ao filo dos cnidários.

b) A colonização de novas áreas por indivíduos resultantes da reprodução sexuada pode dar origem a um novo recife de coral. Posteriormente, a colônia de corais se desenvolve principalmente por meio da reprodução assexuada dos pólipos por brotamento. O broto formado nos pólipos dos antozoários origina novos indivíduos, que permanecem unidos ao indivíduo parental e assim aumentam o tamanho da colônia.

15. (08) e (16).

(01) Incorreta. As células epitelio-musculares (mioepiteliais) epidérmicas, como o nome diz, estão localizadas na epiderme dos cnidários; têm função contrátil e estão relacionadas ao revestimento e à contração do corpo. Nas hidras, essas células, ao se contraírem, diminuem o comprimento do corpo do animal.

(02) Incorreta. Os nematocistos são estruturas encontradas nas células urticantes, os cnidoblastos, que estão distribuídas pela epiderme dos cnidários. As células intersticiais são encontradas em uma camada gelatinosa, entre a epiderme e a gastroderme. São células totipotentes, ou seja, são capazes de originar todas as demais células do corpo dos cnidários; são importantes também no crescimento e na regeneração.

(04) Incorreta. As células mioepiteliais digestivas estão localizadas na gastroderme dos cnidários. Têm função contrátil: quando elas se contraem, o corpo do animal se alonga; também participam ativamente da absorção e da digestão intracelular do alimento. As células glandulares presentes na epiderme e na gastroderme secretam muco, o qual lubrifica o animal, cuja função é protegê-lo. Nas formas sésseis o muco é responsável pela adesão do animal ao substrato.

16. (01), (02) e (04).

(08) Incorreta. O carbonato de cálcio (CaCO_3) é uma substância inorgânica.

(16) Incorreta. O CO_2 produzido pela queima de combustíveis e pelas queimadas provoca o aumento desse gás na atmosfera, contribuindo assim para o aumento do efeito estufa e, conseqüentemente, para o aumento da temperatura média do planeta.

17. I – Porócito; os porócitos são células em forma de tubo ou “rosca” presentes entre os pinacócitos (células que revestem externamente as esponjas), característica que dá nome ao filo (poríferos).

II – Coanócito; os coanócitos são células flageladas que, em razão do batimento de seus flagelos, geram um fluxo unidirecional e contínuo de água que entra no animal pelos porócitos, chega até o átrio ou espongiocelo, onde é filtrada pelos coanócitos, e deixa o animal através do ósculo.

III – Amebócito; os amebócitos são células ameboides totipotentes presentes na camada gelatinosa (meso-hilo) do corpo das esponjas, que fica entre os pinacócitos e os coanócitos. Essas células participam da digestão intracelular e distribuem os nutrientes pelo corpo das esponjas.

IV – Pinacócito; células achatadas que revestem externamente o corpo das esponjas.

Estudo para o Enem

18. E

A redução do pH das águas marinhas pode causar danos à estrutura dos esqueletos calcários dos corais, que são formados a partir dos íons de carbonato presentes na água do mar. Com a acidificação do meio, haverá menos carbono inorgânico dissolvido na forma de carbonato e mais na forma de bicarbonato, dificultando sua utilização pelos corais. Assim, a sobrevivência dos recifes de coral ficará comprometida, acarretando a diminuição do tamanho de suas populações.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Biologia para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Associar características adaptativas dos organismos com seu modo de vida ou com seus limites de distribuição em diferentes ambientes, em especial em ambientes brasileiros.

19. B

Os espongiários ou esponjas (poríferos) possuem uma camada gelatinosa entre as paredes interna e externa de seu corpo, na qual são encontrados elementos de sustentação formados por espículas (de sílica ou calcária) e fibras proteicas de espongina. Algumas esponjas possuem apenas espículas, outras têm espículas e fibras de espongina, e há esponjas que têm apenas fibras de espongina como elementos de sustentação de seus corpos (popularmente conhecidas como esponjas de banho).

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Biologia para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Associar características adaptativas dos organismos com seu modo de vida ou com seus limites de distribuição em diferentes ambientes, em especial em ambientes brasileiros.

20. E

Os cnidários são heterótrofos, portanto não produzem o próprio alimento. Contudo, as algas zooxantelas que vivem em mutualismo com os pólipos formadores dos recifes de coral são autótrofas, e parte dos nutrientes produzidos por

meio da fotossíntese pelas algas é aproveitada pelos pólipos.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Biologia para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Associar características adaptativas dos organismos com seu modo de vida ou com seus limites de distribuição em diferentes ambientes, em especial em ambientes brasileiros.

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

18 PLATELMINTOS E NEMATÓDEOS

Comentário sobre o módulo

Simetria bilateral do corpo e centralização do sistema nervoso são novidades evolutivas compartilhadas por platelmintos e nematódeos em comparação a poríferos e cnidários. Além disso, esses animais têm três folhetos embrionários (triblásticos). São vermes que não apresentam corpo segmentado e têm representantes de vida livre e parasitas.

As formas parasitas são responsáveis por doenças humanas frequentes e graves. São exemplos a esquistossomose (causada pelo platelminto trematódeo – *Schistosoma mansoni*), a teníase (causada pela *Taenia solium* e *Taenia saginata*) e a cisticercose (causada pelos platelmintos cestódeos *Taenia solium*, cujas formas adultas são hermafroditas e realizam autofecundação). Por sua vez, as formas parasitas dos nematódeos são responsáveis por doenças como a ascariíase (ou lombriga – *Ascaris lumbricoides*); a filariose (ou elefantíase – *Wuchereria bancrofti*); o amarelão (ou ancilostomose – *Ancylostoma duodenale* e *Necator americanus*); a oxiurose (*Enterobius vermicularis*); e o bicho-geográfico (*Ancylostoma braziliensis*). Higienização dos alimentos, tratamento da água, saneamento básico e tratamento dos doentes são medidas profiláticas adequadas para a maioria das doenças causadas por platelmintos e nematódeos.

Para ir além

O artigo do [link](http://cienciahoje.org.br/nova-estrategia-de-combate-a-esquistossomose/) a seguir aborda as novas estratégias no combate à esquistossomose. Disponível em:

<<http://cienciahoje.org.br/nova-estrategia-de-combate-a-esquistossomose/>>.

Acesso em: mar. 2019.

A redução de áreas verdes é um dos principais fatores responsáveis pela migração de mosquitos transmissores de doenças para as regiões urbanas. Leia mais sobre o assunto no texto do [link](http://agencia.fapesp.br/mosquitos-vetores-de-doencas-ganham-com-reducao-de-areas-verdes-em-sao-paulo/27009/) abaixo. Disponível em:

<<http://agencia.fapesp.br/mosquitos-vetores-de-doencas-ganham-com-reducao-de-areas-verdes-em-sao-paulo/27009/>>.

Acesso em: mar. 2019.

Além de parasitas animais, existem nematódeos que causam muitos prejuízos econômicos ao parasitar plantas. Para saber mais, leia o texto a seguir. Disponível em:

<<http://agencia.fapesp.br/embrapa-divulga-lista-de-pragas-agricolas-de-mais-alto-risco-26364/>>.

Acesso em: mar. 2019.

Exercícios propostos

7. C

A teníase é causada pela ingestão de carne (suína ou bovina) contaminada pela tênia imatura (cisticercos ou “canjiquinha”), desde que o alimento esteja malcozido ou cru. O platelminto parasita é a *Taenia solium* (parasita do porco) ou *Taenia saginata* (parasita do gado), também conhecida como solitária.

8. C

Cnidários e platelmintos são enterozoários incompletos. Ou seja, o sistema digestório desses animais é incompleto, sendo formado por um único orifício, a boca. A bile é produzida no fígado e é constituída principalmente de água e sais biliares (não há enzimas).

9. F – F – V – F – F

No ciclo do *S. mansoni*, as larvas miracídios originam as larvas cercárias no interior do caramujo. As cercárias, quando penetram a pele ou as mucosas de uma pessoa ou outro hospedeiro, perdem suas caudas e passam a ser chamadas de esquistossômulos.

Os esporocistos (primário e secundário) são formados no interior do caramujo, que é o hospedeiro intermediário.

As metacercárias se transformam em cercárias e invadem o hospedeiro definitivo.

A introdução de caramujos resistentes ao platelminto parasita é uma forma de diminuir o número de caramujos infectados pelo esquistossomo. Consequentemente, há redução do número de pessoas que podem ser parasitadas.

10. a) A transmissão da ascariíase ocorre principalmente pela ingestão de água ou alimentos contaminados por ovos do verme nematódeo. No intestino delgado da pessoa, as larvas saem dos ovos e migram pelo corpo do hospedeiro. Passam então pelo sistema circulatório, pelos pulmões, pela traqueia e faringe. Assim, são engolidas e retornam ao intestino delgado, em que se fixam já na forma adulta. Durante esse trajeto, as lombrigas jovens atravessam os tecidos e lesionam os órgãos pelos quais passam, principalmente intestino, fígado e pulmão.

b) As fêmeas são maiores que os machos. Além disso, a parte posterior do corpo dos machos tem formato de gancho, que serve para fixação no corpo da fêmea durante a cópula. A lombriga é classificada como um parasita monóxeno ou monogenético, porque seu ciclo de vida envolve um único hospedeiro, o ser humano.

11. B

Os vermes citados no texto pertencem a diferentes grupos (filos) animais. A ancilostomose, ou amarelão, é causada por nematódeos (*Ancylostoma duodenale* e *Necator*). A teníase é causada por platelmintos (*Taenia*). Esses grupos apresentam como característica comum três folhetos germinativos (endoderme, ectoderme e mesoderme). Ou seja, são animais triblásticos. Adicionalmente, têm simetria bilateral e sistema nervoso central, composto de glânglios nervosos na região anterior do corpo e cordões nervosos longitudinais ao longo do corpo.

12. B

Diarreia, cólera e verminoses são doenças transmitidas por meio de água, solo e alimentos contaminados. São causadas principalmente por bactérias e vermes (platelmintos e nematódeos).

13. a) A lombriga (*Ascaris lumbricoides*) é o nematódeo causador da ascaridíase. A doença é adquirida por meio da ingestão de ovos com embriões presentes em alimentos mal lavados e em águas contaminadas. O *Ancylostoma duodenale* é o nematódeo causador do amarelão. Essa doença é adquirida, principalmente, quando larvas presentes no solo perfuram a pele dos pés de pessoas descalças.

b) Os vermes parasitas absorvem a vitamina A ingerida pelo hospedeiro humano, causando a deficiência dessa substância no indivíduo parasitado.

14. a) No ciclo de vida do platelminto *Schistosoma mansoni*, as formas infectantes para o hospedeiro humano (vertebrado) são as larvas cercárias. As formas infectantes para o hospedeiro invertebrado, caramujos da família dos planorbídeos, são as larvas chamadas miracídeos.

b) Saneamento básico, uso de calçados e cuidados para não entrar em contato com lagoas infestadas de caramujos são medidas profiláticas para prevenir a esquistossomose.

15. E

Wuchereria bancrofti é o nematódeo agente da filariose, que causa a elefantíase. *Enterobius vermicularis* é o nematódeo causador da oxiurose, ou enterobiose.

Schistosoma mansoni é o platelminto causador da esquistossomose.

Taenia é o platelminto causador da teníase e da cisticercose (espécie *T. solium*).

16. F - F - V - F - V

Um único hospedeiro humano pode abrigar dezenas de vermes da espécie *Ascaris lumbricoides*.

Uma pessoa adquire a neurocisticercose quando ingere os ovos de *Taenia solium* (parasita do porco), por meio de alimentos mal lavados ou água contaminada com esgoto. Assim, o indivíduo torna-se hospedeiro intermediário do parasita.

Adquire-se o nematódeo parasita *Enterobius vermicularis*, causador da enterobiose ou oxiurose, pela ingestão de seus ovos. Isso pode ocorrer de forma direta (contaminação anal) ou indireta (pela ingestão de água e alimentos contaminados).

17. a) O nematódeo *Ascaris lumbricoides* (lombriga) é um endoparasita monoxeno, isto é, apresenta apenas um hospedeiro durante seu ciclo de vida, o ser humano.

b) A lombriga é adquirida pela ingestão de águas não tratadas ou de alimentos crus ou mal lavados que contenham ovos de embriões de *Ascaris lumbricoides*.

c) O *A. lumbricoides* se reproduz no intestino delgado humano.

d) Saneamento básico e tratamento dos doentes evitam que os ovos dos vermes contaminem o ambiente.

Estudo para o Enem**18. A**

O amarelão ou ancilostomíase é uma verminose causada pelo platelminto *Schistosoma mansoni*. O contágio ocorre pelo consumo de água contaminada ou pelo contato com o solo contaminado pela larva (cercária) do parasita. A cercária penetra ativamente a pele das pessoas. Por esse motivo, o uso de calçados e o cuidado para não nadar em lagoas contaminadas são medidas importantes.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Biologia para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Associar características adaptativas dos organismos com seu modo de vida ou com seus limites de distribuição em diferentes ambientes, em especial em ambientes brasileiros.

19. E

A *milamina L.* é um potente moluscicida. Dessa forma, seu uso possibilita controlar a população de caramujos planorbídeos, que são os hospedeiros intermediários (da larva miracídio) do ciclo de vida do *Schistosoma mansoni*, o platelminto causador da esquistossomose.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos

científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Identificar padrões em fenômenos e processos vitais dos organismos, como manutenção do equilíbrio interno, defesa, relações com o ambiente, sexualidade, entre outros.

20.C

A teníase (solitária) é causada pela presença do platelminto adulto do gênero *Taenia* no intestino humano. Ela é adquirida pela ingestão de carne suína ou bovina crua ou mal cozida que esteja contaminada

pelas larvas cisticercos (popularmente conhecidas como “canjiquinhas”). A *T. solium* parasita suínos, enquanto a *T. saginata* parasita bovinos.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Biologia para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Associar características adaptativas dos organismos com seu modo de vida ou com seus limites de distribuição em diferentes ambientes, em especial em ambientes brasileiros.

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

19 ANELÍDEOS

Comentário sobre o módulo

Há cerca de 15 mil espécies conhecidas no filo dos anelídeos. A metameria, o celoma e a presença de um sistema circulatório fechado são novidades evolutivas dos anelídeos em relação aos demais filos animais estudados até o momento (poríferos, cnidários, platelmintos e nematódeos). O celoma preenchido por fluido funciona como um esqueleto hidrostático nos anelídeos.

O corpo dos anelídeos é revestido por uma cutícula fina e transparente, secretada pela epiderme. Anelídeos possuem respiração cutânea ou branquial (como em poliquetas marinhos). A excreção é feita por nefrídios, também chamados de metanefrídios. Possuem um sistema nervoso desenvolvido, chamado de ganglionar ventral (um par de gânglios nervosos por segmento do corpo e um par de cordões nervosos longitudinais).

Anelídeos realizam reprodução sexuada. Minhocas e sanguessugas são espécies monoicas ou hermafroditas (fecundação cruzada mútua e interna; desenvolvimento direto); e poliquetas são em sua maioria dioicos (fecundação cruzada externa; desenvolvimento indireto).

Para ir além

Texto aborda a relação entre as minhocas e o aumento da produção agrícola. Disponível em:

<<http://cienciahoje.org.br/aliadas-minhocas/>>.

Acesso em: mar. 2019.

Fezes de minhoca podem conter a chave para entender o clima no planeta. Disponível em:

<https://www.bbc.com/portuguese/noticias/2013/07/130711_coco_minhoca_clima_gm>.

Acesso em: mar. 2019.

Texto da Agência Fapesp cita a existência de anelídeos marinhos que emitem bioluminescência. Disponível em:

<<http://agencia.fapesp.br/bioluminescencia-profunda/10952/>>.

Acesso em: mar. 2019.

Entenda a semelhança e a relação evolutiva entre as células fotorreceptoras humanas e as dos poliquetas. Disponível em:

<<http://agencia.fapesp.br/olho-da-evolucao/2791/>>.

Acesso em: mar. 2019.

Exercícios propostos

7. A

(I) Correta. As minhocas vivem no solo e sua escavação torna o solo mais poroso e aerado.

(II) Correta. Alimentam-se de matéria orgânica, portanto contribuem para o processo de decomposição e reciclagem de nutrientes para o solo.

(III) Incorreta. As minhocas não são animais predadores, alimentando-se de restos de matéria orgânica.

(IV) Correta. O nitrogênio está presente nos excrementos das minhocas, contribuindo para o crescimento vegetal.

(V) Correta. O húmus é um adubo natural, formado pela incorporação ao solo das fezes (excrementos) das minhocas, com grande variedade de elementos da decomposição de matéria orgânica.

8. C

Minhocas (oligoquetas) e sanguessugas (hirudíneos) são anelídeos que possuem reprodução bastante similar. Seus representantes são espécies monoicas (ou hermafroditas) que realizam fecundação interna e cruzada, e apresentam desenvolvimento direto.

9. D

Celoma, metameria e sistema circulatório fechado são novidades evolutivas do grupo dos anelídeos em relação aos poríferos, cnidários, platelmintos e nematódeos. Sistema circulatório fechado também está presente em moluscos da classe dos cefalópodes (polvos e lulas), mas os moluscos não apresentam metameria.

10. Durante o acasalamento, dois animais ficam pareados. Durante a cópula, o poro genital masculino de um indivíduo se conecta ao receptáculo seminal do outro indivíduo, ocorrendo assim a transferência dos espermatozoides entre eles. Posteriormente, forma-se um casulo (bolsa gelatinosa onde os ovócitos são depositados) ao redor do clitelo (conjunto de metâmeros contendo glândulas secretoras). O casulo formado desloca-se pelo corpo por meio de contrações da musculatura, passa pelas aberturas dos receptáculos seminais e recebe os espermatozoides, ocorrendo assim uma fecundação interna. Os ovos formados permanecem no casulo, o qual é desprendido do corpo do progenitor. No interior dos ovos ocorre o desenvolvimento direto de novos indivíduos. Os poliquetas são dioicos, e a fecundação é cruzada e externa, ocorrendo um estágio larval (desenvolvimento indireto – larva trocócfora).

11. E

As minhocas são anelídeos que possuem o corpo cilíndrico e segmentado. Por meio da contração e distensão coordenada dos músculos de cada metâmero do corpo, as minhocas se locomovem por rastejamento e escavam túneis no solo. Os túneis escavados arejam o solo e revolvem os detritos vegetais, facilitando sua decomposição. Dessa forma, contribuem para a fertilização do solo.

12. B

A principal novidade evolutiva dos anelídeos que os distingue dos nematodes é a segmentação corporal. Ambos os filos possuem simetria bilateral e sistema digestivo completo. O sistema nervoso desses grupos é caracterizado pela presença de gânglios cerebrais.

13. A

Os metanefrídeos são as estruturas excretoras presentes em anelídeos e moluscos. Em geral os anelídeos apresentam um par de metanefrídios por segmento corporal.

14. a) (II)

b) (I) Incorreta. As minhocas são anelídeos que vivem, em sua maioria, em ambientes terrestres úmidos. As minhocas não possuem sistema respiratório, e suas trocas gasosas ocorrem através da superfície corporal, caracterizando uma respiração cutânea. Os cnidários são representados por medusas e pólipos e não possuem sistema respiratório. Os crustáceos não pertencem ao filo dos cnidários.

(III) Incorreta. Poliquetas não possuem clitelo. O clitelo é uma estrutura importante na reprodução, pois secreta muco e auxilia a formação do casulo contendo os ovos.

15. D

As sanguessugas pertencem à classe Achaeta, caracterizadas pela ausência de cerdas e parapódios.

16. E

Anelídeos e vários nematódeos possuem o corpo revestido por cutícula, e ambos os grupos são enterozoários completos (têm tubo digestório com duas aberturas). Nematódeos não apresentam sistema circulatório e não possuem celoma verdadeiro.

17. a) (02) e (08).

b) (01) Incorreta. Os oligoquetas não apresentam cabeça diferenciada com apêndices sensoriais, possuindo na região anterior do corpo gânglios cerebrais de onde saem cordões nervosos ventrais. Já os poliquetas apresentam uma cabeça diferenciada composta de tentáculos e outras estruturas sensoriais.

(04) Incorreta. O sistema nervoso dos anelídeos é constituído por um par de gânglios cerebrais na região anterior do corpo, um anel nervoso em torno da faringe, um par de cordões nervosos longitudinais ventrais e um par de gânglios nervosos em cada metâmero.

Estudo para o Enem**18. D**

Platelmintos e nematódeos não são animais segmentados. Embora os nematódeos possuam uma

cavidade corporal preenchida por fluido que aloja seus órgãos internos, essa cavidade não é revestida por mesoderme, sendo por isso chamada de pseudoceloma. Os três filos compreendem animais triblásticos.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Compreender o papel da evolução na produção de padrões, processos biológicos ou na organização taxonômica dos seres vivos.

19. D

As minhocas, que pertencem ao filo Annelida, realizam respiração cutânea. Para facilitar as trocas gasosas, sua pele se mantém úmida em virtude da secreção de fluido celomático. O semiárido nordestino possui um baixo regime de chuvas e altas temperaturas, características que dificultam a manutenção do solo úmido e facilitam a perda de água do corpo da minhoca para o ambiente.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Biologia para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Interpretar experimentos ou técnicas que utilizam seres vivos, analisando implicações para o ambiente, a saúde, a produção de alimentos, matérias-primas ou produtos industriais.

20. A

A boca da minhoca possui uma região carnosa denominada prostômio, e o seu alimento é sugado pela faringe e encaminhado para o papo, que armazena temporariamente antes de o alimento ser encaminhado para a moela, que o tritura. A digestão continua no intestino, que tem a tifossolo como estrutura especializada, aumentando a área de contato do alimento e promovendo maior absorção dos nutrientes. No caso das sanguessugas, suas estruturas são especializadas com a sua dieta parasitária, em que um vacúolo sugador localizado ao redor da boca é responsável por sugar o sangue do hospedeiro.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Biologia para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Associar características adaptativas dos organismos com seu modo de vida ou com seus limites de distribuição em diferentes ambientes, em especial em ambientes brasileiros.

20 MOLUSCOS

Comentário sobre o módulo

Moluscos são animais de corpo mole. Com mais de 100 mil espécies conhecidas, são o segundo maior filo animal em diversidade. A grande maioria é marinha, mas há espécies de água doce e terrestres.

São animais triblásticos, protostômios, enterozoários completos, com simetria bilateral e um corpo constituído de três partes principais (pé muscular, massa visceral e manto). Gastrópodes e cefalópodes têm cabeça e órgãos sensoriais desenvolvidos. Os bivalves têm cabeça reduzida ou quase ausente. Na cavidade do manto, estão as brânquias e as aberturas digestivas, excretoras e reprodutoras.

O manto vascularizado possibilita trocas gasosas entre a hemolinfa e o ambiente (no ar ou na água). Moluscos podem apresentar respiração branquial, pulmonar ou cutânea. A maioria tem sistema circulatório aberto ou lacunar, com exceção dos cefalópodes. A excreção é realizada por nefrídios ou metanefrídios, e o sistema nervoso é ganglionar. Esses animais têm reprodução sexuada. Há espécies monoicas e dioicas, cuja fecundação pode ser interna ou externa, de desenvolvimento direto ou indireto.

Para ir além

O texto “Muito além das pérolas” traz informações sobre a produção das conchas. Disponível em:

<<http://cienciahoje.org.br/muito-alem-das-perolas/>>.

Acesso em: fev. 2019.

No *link* a seguir, é possível ler um texto sobre o efeito do aumento do CO₂ sobre populações de moluscos. Disponível em:

<<http://cienciahoje.org.br/aumento-do-co2-na-atmosfera-meio-ecossistemas-marinhos/>>.

Acesso em: fev. 2019.

Exercícios propostos

7. C

Com exceção da metameria (ou corpo segmentado), todas as características citadas nas alternativas estão em um ou mais grupos de moluscos.

8. C

(I) Correta. O sistema excretor dos moluscos é composto de metanefrídios, estruturas ciliadas responsáveis por filtrar o fluido do pericárdio e eliminar as excretas.

(II) Correta. A maioria dos moluscos tem sistema respiratório branquial, mas há espécies de respiração pulmonar (por exemplo, gastrópodes terrestres como caramujos) ou de respiração cutânea (como em lesmas – gastrópodes – terrestres e marinhas).

(III) Incorreta. Os moluscos se reproduzem de forma sexuada. Existem espécies dioicas (sexos separados) ou monoicas (ou hermafroditas). Em ambas a fecundação é cruzada. Ela pode ser interna ou externa, com desenvolvimento direto ou indireto.

9. C

A concha dos moluscos é secretada pelo manto. Os bivalves são filtradores e não têm rádula. Algumas espécies de bivalves são capazes de produzir pérolas como resposta à entrada de partículas estranhas entre o manto e a concha.

10. Cefalópodes: a concha interna reduzida ou ausente possibilita que esses animais se locomovam mais fácil e agilmente. O sistema circulatório fechado deles transporta o oxigênio de forma mais rápida e eficiente, algo essencial para organismos que se locomovem bastante.

Gastrópodes: o desenvolvimento direto pode reduzir o risco de desidratação que formas larvais enfrentariam em um ambiente terrestre (o qual tem restrição hídrica). A maior produção de muco reduz o atrito com a superfície do substrato e facilita a locomoção por rastejamento realizada por esses animais.

11. A

Espônjas (poríferos) e mexilhões (moluscos bivalves) são animais aquáticos que obtêm seu alimento pela filtração da água. Por esse motivo, são bons bioindicadores, uma vez que acumulam poluentes em suas células e tecidos. No caso das esponjas, esse grupo não tem tecidos.

12. D

Ostras e mexilhões pertencem à classe dos bivalves. São moluscos que se alimentam, em sua maioria, por meio da filtração. Suas brânquias têm função respiratória e alimentar. Compreendem apenas espécies aquáticas. Não têm rádula, e sua cefalização é reduzida.

13. C

Em sua maioria, os moluscos apresentam simetria bilateral ou uma variação dela. Não há moluscos com simetria radial. A concha dos moluscos tem composição calcária (carbonato de cálcio).

14. a) Caracol (classe Gastropoda – II), polvos e lulas (classe Cephalopoda – III) são moluscos que têm rádula. Ostras, mariscos e mexilhões (classe Bivalvia – I) são moluscos que não têm rádula.

b) Bivalves são animais aquáticos. A maioria deles é filtradora, alimentando-se de partículas de substrato (como o plâncton) em suspensão na água. A água entra pelo sifão inalante, e o muco nas brânquias retém as partículas de alimento. Elas são filtradas e levadas pelos cílios das brânquias até a boca do animal, na qual são ingeridas.

c) Os bivalves fazem parte da base de muitas cadeias alimentares marinhas. Como são animais filtradores, podem ser utilizados como bioindicadores da qualidade da água, na medida em que concentram toxinas e poluentes presentes na água.

15. E

Moluscos (filo Mollusca) são animais de corpo mole, sem esqueleto, geralmente protegidos por uma concha calcária. A classe dos cefalópodes (Cephalopoda) vive exclusivamente no mar e tem a cabeça diretamente ligada aos pés. A classe que compreende ostras e mexilhões corresponde aos bivalves (Bivalvia). Os gastrópodes (Gastropoda) são de concha espiralada, com representantes marinhos, de água doce e terrestres, como caramujos e lesmas terrestres e marinhas. Já os escafópodes (Scaphopoda) têm concha oca e aberta nas duas extremidades, semelhante a uma pequena presa de elefante.

16. B

Os representantes do filo Mollusca apresentam simetria bilateral. São protostômios, triblásticos, celomados e enterozoários completos. A excreção dos resíduos do metabolismo ocorre por metanefrídeos.

17. a) (04).

b) (01) Incorreta. Apenas moluscos bivalves têm sifões inalantes e exalantes. (02) Incorreta. A excreção por nefrídios ou metanefrídios é uma característica comum a todos os moluscos. (08) Incorreta. A maioria dos moluscos apresenta sistema circulatório aberto, com exceção da classe dos cefalópodes (polvos, lulas e náutilos), cujo sistema circulatório é fechado.

Estudo para o Enem

18. E

A miliamina é um potente moluscicida. Pode ser usada no controle da população de caramujos da

família dos planorbídeos (moluscos gastrópodes) – hospedeiros intermediários do *Schistosoma mansoni*, um platelminto causador da esquistossomose (ou barriga-d'água).

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Biologia para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Interpretar experimentos ou técnicas que utilizam seres vivos, analisando implicações para o ambiente, a saúde, a produção de alimentos, matérias-primas ou produtos industriais.

19. A

A fecundação cruzada entre animais hermafroditas aumenta a variabilidade genética em relação à autofecundação, uma vez que o descendente herda metade do material genético de cada progenitor. Assim, animais que se reproduzem dessa forma geram descendentes com mais chances de sobrevivência em ambientes que sofrem alterações.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Reconhecer mecanismos de transmissão da vida, prevendo ou explicando a manifestação de características dos seres vivos.

20. E

Espécies invasoras não têm predadores nem patógenos naturais nos novos ecossistemas em que são introduzidas. Dessa forma, geralmente crescem descontroladamente no novo ambiente. Muitas vezes competem por alimento e espaço com espécies nativas, as quais podem ser levadas à extinção. Além disso, podem causar danos socioambientais e econômicos.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Biologia para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Associar características adaptativas dos organismos com seu modo de vida ou com seus limites de distribuição em diferentes ambientes, em especial em ambientes brasileiros.

21 ARTRÓPODES

Comentário sobre o módulo

O filo Arthropoda apresenta grande diversidade e compreende cinco subfilos com representantes terrestres, alados e marinhos. Neste módulo, foram apresentadas as principais novidades evolutivas do grupo, como o exoesqueleto quitinoso, a segmentação corporal e a fusão de tagmas com apêndices articulados, além da relação destas características com o sucesso evolutivo do grupo.

Os atributos morfológicos de fácil identificação foram destacados para os cinco subfilos de artrópodes, como os dois pares de asas encontrados em representantes dos Hexapoda (classe Insecta), o tronco multissegmentado característico dos quilópodes, a cutícula endurecida, as adaptações encontradas nos crustáceos que permitiram o domínio no ambiente marinho, e a presença de estruturas inoculadoras de veneno em aracnídeos.

Para ir além

Nesse artigo é discutida a interação ecológica entre abelhas e fungos. Disponível em:

<<http://agencia.fapesp.br/abelha-sem-ferrao-nativa-do-brasil-cultiva-fungo-para-sobreviver/22113/>>.

Acesso em: fev. 2019.

Confira o artigo completo citado na introdução deste módulo. Disponível em:

<<http://agencia.fapesp.br/mudancas-no-uso-da-terra-afetam-a-biodiversidade-e-o-solo-afirma-estudo/24093/>>.

Acesso em: fev. 2019.

Exercícios propostos

7. A

(II) Incorreta. Os representantes do grupo dos aracnídeos não possuem asas e são terrestres. No entanto, o grupo dos insetos é bastante diverso, de modo que são os únicos invertebrados capazes de voar, mas existem representantes sem asas, como as baratas e as formigas.

8. A

O animal fóssil mostrado na figura é um trilobita, pertencente ao filo dos artrópodes; a metameria (segmentação) e a organização do corpo em tagmas podem ser identificadas na própria imagem. Apresenta simetria bilateral, com eixo ântero-posterior bem definido. Esse tipo de simetria não ocorre em poríferos (sem simetria), cnidários (simetria radial), nem em equinodermos adultos (simetria radial ou pentarradial; a fase larval do grupo possui simetria bilateral).

9. B

Os escorpiões, assim como a maioria dos aracnídeos (aranhas, opiliões), possuem fecundação interna e apresentam desenvolvimento direto.

10. A curva que representa corretamente o crescimento dos insetos é a B, pois há períodos de crescimento, que ocorrem quando os artrópodes (insetos) trocam seu exoesqueleto (muda ou ecdise), intercalados por períodos em que não ocorre o crescimento do animal (estase). Isso acontece porque, à medida que o exoesqueleto substituído endurece, o crescimento do animal é impedido. Já a curva A representa um crescimento contínuo ao longo do tempo, que é a forma de crescimento típico da maioria dos demais grupos de animais não artrópodes.

11. D

Os insetos e miriápodes realizam a troca de gases pelo sistema traqueal; aracnídeos têm respiração filotraqueal; crustáceos possuem respiração branquial.

12. A

As centopeias (quilópodes) apresentam um par de pernas por segmento do tronco, não são capazes de se enrolar e são carnívoras (possuem glândulas de veneno que inoculam em suas presas). Os piolhos-de-cobra (diplópodes) possuem dois pares de pernas por diplossegmento do tronco (cada segmento visível externamente no tronco na verdade corresponde a dois segmentos fundidos); são capazes de se enrolar em espiral e são herbívoros.

13. D

O camarão (crustáceo) é um artrópode que possui um sistema nervoso mais complexo do que o dos cnidários (anêmonas-do-mar, medusas). Os cnidários têm um sistema nervoso difuso ou radial, desprovido de centralização. Já os artrópodes possuem um sistema nervoso com gânglios (concentrações de células nervosas), entre eles o gânglio cerebral na região anterior do animal. A maior complexidade do sistema nervoso está diretamente associada à maior variedade de tipos e complexidade de comportamentos realizados pelos animais.

14. a) O larvicida deve ser colocado em água parada, local onde o *Aedes aegypti* deposita seus ovos, os quais posteriormente se transformam em larvas. Os mosquitos são insetos holometábolos (como borboletas e mariposas) e se desenvolvem por metamorfose completa, que consiste em um ciclo de vida contendo as fases de ovo, larva, pupa (casulo) e adulto (imago).

b) Sim. Os insetos possuem respiração traqueal, que consiste em orifícios na parede do corpo conectados a um sistema de canais internos (traqueias) que levam o ar atmosférico diretamente até os tecidos e as células. O bloqueio dos espiráculos impede que os mosquitos realizem trocas gasosas e, conseqüentemente, morram.

15. (02), (04), (08) e (16).

(01) Incorreto. Os aracnídeos (aranhas, escorpiões, opiliões) apresentam o corpo dividido em cefalotórax e abdome. Não possuem antenas e apresentam olhos simples. Não há apêndices articulados no abdome dos aracnídeos.

16. (16) e (32).

(01) Incorreto. A disseminação do vírus Zika ocorreu pelo deslocamento de humanos infectados.

(02) Incorreto. A origem do vírus Zika se deu em ilhas do oceano Pacífico (informado na parte superior esquerda da figura).

(04) Incorreto. Somente as fêmeas do mosquito são hematófagas, portanto só elas podem transmitir o vírus de uma pessoa para outra por meio de picada.

(08) Incorreto. Os mosquitos são insetos holometábolos, apresentando metamorfose completa; porém também há insetos ametábolos (sem metamorfose), e insetos hemimetábolos (com metamorfose parcial ou incompleta).

(64) Incorreto. Não há coincidência temporal entre a época da detecção do vírus Zika no Nordeste brasileiro (meados de 2013) e a ocorrência de casos de microcefalia em Porto Rico.

17. a) O carrapato pertence ao grupo dos aracnídeos (aranhas, escorpiões, ácaros), que faz parte do filo dos artrópodes. Entre as características exclusivas dos artrópodes, podem ser citadas: pernas e demais apêndices articulados; corpo segmentado organizado em tagmas (conjuntos de segmentos unidos); e exoesqueleto de quitina.

b) O agente etiológico, ou seja, o causador da doença é a bactéria *Borrelia burgdorferi*; o vetor (transmissor) da doença de Lyme é o carrapato-estrela (*Amblyomma cajennense*) e os hospedeiros geralmente são os animais domésticos (mamíferos como cachorros e gatos) e, excepcionalmente, o ser humano.

Estudo para o Enem

18. E

Os mosquitos hematófagos produzem substâncias anticoagulantes que evitam a coagulação do sangue do qual se alimentam e o entupimento

da probóscide (aparelho sugador dos mosquitos). Anticoagulantes naturais despertam grande interesse da indústria farmacêutica, pelo desenvolvimento de fármacos para o tratamento de trombozes, varizes etc.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Biologia para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Interpretar experimentos ou técnicas que utilizam seres vivos, analisando implicações para o ambiente, a saúde, a produção de alimentos, matérias-primas ou produtos industriais.

19. D

(I) Incorreta. A dengue é causada por um vírus, e a febre maculosa por bactéria (tradicionalmente incluídas no reino Monera).

(II) Incorreta. O vetor da dengue (*Aedes aegypti*) é um mosquito, um artrópode do grupo dos insetos; o vetor da febre maculosa é um carrapato, um artrópode do grupo dos aracnídeos.

(IV) Incorreta. Os antibióticos combatem apenas infecções bacterianas.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Compreender o papel da evolução na produção de padrões, processos biológicos ou na organização taxonômica dos seres vivos.

20. D

A bandeja 1 contém um crustáceo (camarão, lagosta), único grupo de artrópodes que possui dois pares de antenas.

A bandeja 2 contém um inseto, artrópode que possui três pares de pernas e corpo dividido em três tagmas: cabeça, tórax e abdome.

Na bandeja 3 encontra-se um aracnídeo (aranha, escorpião), artrópode que não possui antenas e apresenta quatro pares de pernas no cefalotórax.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Compreender o papel da evolução na produção de padrões, processos biológicos ou na organização taxonômica dos seres vivos.

22 EQUINODERMOS

Comentário sobre o módulo

Equinodermos são animais triblásticos, enterozoários completos, deuterostômios e celomados (enterocélicos). O corpo dos equinodermos está disposto ao longo de um eixo oral-aboral; não possuem cabeça diferenciada; têm endoesqueleto (esqueleto interno de origem mesodérmica) calcário, constituído de placas ou ossículos.

Equinodermos adultos apresentam simetria radial, geralmente sendo possível dividir seu corpo em cinco partes semelhantes (pentarradial). Já as larvas possuem simetria bilateral.

Nos equinodermos, o celoma está subdividido internamente, fazendo parte de um sistema de canais e estruturas na superfície do corpo que forma o sistema ambulacrário, também chamado de sistema hidrovascular. O sistema hidrovascular desempenha um grande número de funções, como locomoção, fixação ao substrato, captura de presas, distribuição de substâncias, excreção.

Para ir além

Nesse artigo da BBC se discute a evolução dos deuterostômios. Disponível em:

<<https://www.bbc.com/portuguese/geral-38803810>>.

Acesso em: fev. 2019.

Matéria sobre o potencial medicinal de estrelas-do-mar que pode ser usado no tratamento de inflamações, asma e febre. Disponível em:

<https://www.bbc.com/portuguese/ciencia/2010/12/101209_estrela_remedio_mv>.

Acesso em: fev. 2019.

Exercícios propostos

7. D

Os equinodermos possuem um sistema nervoso sem cefalização, o qual é constituído por um anel nervoso ao redor da boca, de onde saem nervos radiais. Não há gânglios cerebrais.

8. B

A rádula é uma estrutura usada na alimentação que está presente na maioria dos moluscos. A maioria dos moluscos também possui um esqueleto externo, de constituição calcária (concha), mas, na maioria das espécies em que está presente, a concha não chega a ser um revestimento completo do corpo. O sistema ambulacrário, que desempenha várias funções (entre elas, a locomoção), é uma característica exclusiva dos equinodermos. Os artrópodes (crustáceos, insetos) possuem o corpo todo revestido por um exoesqueleto de quitina.

9. B

Estrelas-do-mar e ouriços-do-mar possuem a boca voltada para o substrato. Os braços das estrelas-do-mar não são ramificados.

Nos lírios-do-mar (crinoides), a boca e o ânus estão localizados na região oposta ao substrato.

Nos ouriços-do-mar (equinoides), a boca está localizada na região central do disco e não há tentáculos ao redor da boca.

Os pepinos-do-mar (holoturoides) possuem o corpo alongado em forma de tubo, com a boca localizada em uma das extremidades, portanto, paralela ao substrato.

10. a) O animal pertence ao filo dos equinodermos. Entre os representantes mais conhecidos do grupo, estão as estrelas-do-mar (classe Asteroidea) e os ouriços-do-mar (classe Echinoidea).

b) Os equinodermos são animais dioicos (sexos separados), realizam fecundação externa e apresentam desenvolvimento indireto, pois, ao longo de seu desenvolvimento, passam por um estágio larval.

11. D

Poríferos não possuem cavidade corporal nem tecidos verdadeiros. Platemintos são animais acelomados, e nematódeos não têm celoma verdadeiro, o qual é denominado pseudoceloma (não é revestido por mesoderme). Moluscos e anelídeos possuem celoma esquizocélico, enquanto o celoma dos equinodermos é enterocélico.

12. D

Os representantes da classe Crinoidea possuem boca e ânus em posição oposta ao substrato. O pepino-do-mar (classe Holothuroidea) apresenta boca paralela ao substrato, em uma das extremidades do corpo.

13. C

O sistema hidrovascular ou ambulacrário é uma novidade evolutiva exclusiva dos equinodermos. Cnidários possuem uma cavidade gastrovascular, que é, na realidade, o tubo digestório incompleto.

14. Não. A simetria radial dos equinodermos adultos é secundária porque suas larvas são bilateralmente simétricas, o que reflete sua descendência de ancestrais bilateralmente simétricos.

15. A

Platelmintos realizam a excreção através de proto-nefrídios (células-flama ou solenócitos). Anelídeos e moluscos são animais celomados, o qual é formado por esquizocelia. Nematódeos não apresentam um celoma verdadeiro, uma vez que este não é revestido por mesoderma, sendo por isso denominado pseudoceloma. Moluscos podem apresentar respiração branquial, pulmonar ou cutânea.

16. B

Afirmativa I incorreta. Todos os equinodermos apresentam o mesmo padrão de desenvolvimento embrionário de seu tubo digestório, que é a deuterostomia (o blastóporo dá origem ao ânus).

Afirmativa III incorreta. A lanterna de Aristóteles é uma estrutura usada na alimentação, presente apenas na classe dos equinodermos equinoides (ouriços-do-mar e bolachas-da-praia).

17. a) (02).

b) (01) Incorreta. As esponjas não possuem tecidos. As solitárias e as planárias (platelmintos) são animais acelomados; as lombrigas (nematódeos) são animais pseudocelomados (celoma não revestido por mesoderme); enquanto os macacos (primatas da classe dos mamíferos) e os ouriços-do-mar (equinodermos) são animais celomados.

(04) Incorreta. As minhocas (anelídeos) são animais triblásticos, celomados e protostômios.

(08) Incorreta. As estrelas-do-mar pertencem ao filo Echinodermata. Os equinodermos possuem endoesqueleto calcário, e um sistema ambulacrário ou hidrovacular (exclusivo do grupo), o qual desempenha várias funções, como circulação, respiração e excreção.

Estudo para o Enem

18. B

As larvas de equinodermos apresentam simetria bilateral, enquanto as formas adultas possuem simetria radial.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Biologia para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Associar características adaptativas dos organismos com seu modo de vida ou com seus limites de distribuição em diferentes ambientes, em especial em ambientes brasileiros.

19. D

O sistema ambulacrário ou hidrovacular é uma característica exclusiva dos equinodermos (estrelas-do-mar, ouriços-do-mar). O esqueleto calcário dos equinodermos é interno (endoesqueleto). A produção de concha é uma característica dos animais do filo dos moluscos. A notocorda não é uma característica encontrada entre os equinodermos. A reprodução dos equinodermos é sexuada, com fecundação interna e desenvolvimento indireto.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Compreender o papel da evolução na produção de padrões, processos biológicos ou na organização taxonômica dos seres vivos.

20. E

A lanterna de Aristóteles é uma estrutura usada na alimentação, e está presente apenas nos equinoides (ouriços-do-mar e bolachas-da-praia). Todas as classes de equinodermos compreendem enterozoários completos, com exceção dos ofiuroides (serpentes-do-mar). Boca e ânus em posição oposta ao substrato é uma característica encontrada nos crinoides (lírios-do-mar).

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Biologia para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Associar características adaptativas dos organismos com seu modo de vida ou com seus limites de distribuição em diferentes ambientes, em especial em ambientes brasileiros.

Exercício Interdisciplinar

21. B

I. Correta. Algas do grupo das zooxantelas vivem em mutualismo com os pólipos (cnidários da classe dos antozoários) formadores dos recifes de coral. Parte dos nutrientes necessários para os corais sobreviverem é fornecida pelas zooxantelas, que produzem o próprio alimento (autótrofas) por meio da fotossíntese. Com o aumento da temperatura dos oceanos, as algas geralmente abandonam os corais em que vivem em mutualismo, ou podem até mesmo morrer, o que causa o branqueamento dos corais e, conseqüentemente, sua morte.

II. Incorreta. No texto são mencionados animais pertencentes aos filos dos cnidários (corais); poríferos (esponjas); vertebrados (peixes); artrópodes

(ermitão e cracas, subfilo Crustacea); moluscos (lulas); equinodermos (pepinos-do-mar); e plattelmintos (turbelários, grupo que inclui vermes marinhos). Não foram citados anelídeos no texto.

III. Incorreta. Não é o aquecimento da água dos oceanos que causa danos à estrutura do esqueleto dos corais, mas sim a redução do pH da água, embora ambos os processos estejam associados ao aumento da concentração de CO_2 na

atmosfera. A redução do pH das águas marinhas pode causar danos à estrutura dos esqueletos calcários dos corais, que são formados dos íons de carbonato presentes na água do mar. Com a acidificação do meio, haverá menos carbono inorgânico dissolvido na forma de carbonato e mais na forma de bicarbonato, o que dificulta sua utilização pelos corais. Assim, a sobrevivência dos recifes de coral ficará comprometida, acarretando a diminuição do tamanho de suas populações.

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

RESPOSTAS E COMENTÁRIOS

BIOLOGIA 3

BLEND IMAGES / ALAMY STOCK PHOTO

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO DO SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO



17 SISTEMA RESPIRATÓRIO

Comentário sobre o módulo

Em Biologia, o termo **respiração** pode se referir à respiração celular, que consome oxigênio, e à respiração externa, em que ocorrem as trocas gasosas entre a atmosfera e as células. Esse processo inclui ventilação, troca de gases e transporte de gases no sangue (no caso dos animais de sistema circulatório fechado). Embora a teoria apresente os órgãos que compõem o sistema respiratório de maneira generalizada, este pode ser dividido em trato respiratório superior (boca, cavidade nasal, faringe e laringe) e trato respiratório inferior (traqueia, brônquios, bronquíolos e alvéolos).

Para ir além

O Instituto Nacional do Câncer (Inca) disponibiliza o texto sobre o tabagismo em que o considera como uma doença crônica gerada pela dependência da nicotina. Disponível em:

<http://www1.inca.gov.br/situacao/arquivos/causalidade_tabagismo.pdf>.

Acesso em: fev. 2019.

O efeito de elevadas altitudes para a respiração humana pode ser compreendido em uma matéria da *Superinteressante*. Disponível em:

<<https://super.abril.com.br/mundo-estranho/quais-sao-os-efeitos-da-altitude-no-corpo-humano/>>.

Acesso em: fev. 2019.

Exercícios propostos

7. B
O esticamento da borracha corresponde à contração do músculo diafragma, sob comando de neurônios situados no bulbo, quando ocorre uma ligeira queda no pH do sangue em função da formação de ácido carbônico no plasma.
8. D
Os pulmões são estruturas respiratórias presentes em anfíbios adultos, répteis, aves e mamíferos. Essas estruturas variam em morfologia e tamanho, porém proporcionam aos animais uma grande área relacionada às trocas gasosas com o ambiente.
9. E
Todos os itens estão corretos e relacionados ao controle da respiração humana.
10. a) Os músculos que participam diretamente dos movimentos que levam à ventilação pulmonar são os intercostais, abdominais e o diafragma.
- b) No acidente descrito, a perfuração no tórax comprometeu a ventilação pulmonar porque as pressões intrapulmonar e atmosférica se igualaram.
11. D
No processo de inspiração, a musculatura intercostal e o músculo diafragma se abaixam, contraindo e aumentando o volume da caixa torácica, o que permite a entrada de ar nos pulmões.
12. C
Durante a inspiração, o ar que chega aos alvéolos pulmonares contém maior concentração de O_2 em relação ao sangue arterial.
13. C
As cinzas emanadas pelos vulcões em atividade, quando inaladas por pessoas e animais, podem provocar tosse, dificuldade respiratória e retenção de partículas poluentes e agentes infecciosos que podem causar lesões nas estruturas do aparelho respiratório.
14. O CO_2 no sangue é importante para regular o equilíbrio ácido-base. Quando há excesso de gás carbônico, o sangue fica ácido pelo aumento de H^+ , que ativa quimiorreceptores do bulbo. Assim, aumentam a amplitude e os movimentos respiratórios, eliminando maior quantidade de CO_2 , equilibrando o pH sanguíneo.
15. E
A hematose é a troca gasosa que ocorre entre o sangue e os pulmões, transformando sangue venoso (pobre em oxigênio) em sangue arterial (rico em oxigênio). O sangue que chega aos pulmões é venoso, pobre em oxigênio. A veia pulmonar transporta sangue arterial (rico em oxigênio) dos pulmões para o átrio esquerdo do coração. A artéria pulmonar transporta sangue venoso (pobre em oxigênio) para os pulmões.
16. C
O monóxido de carbono se liga à hemoglobina, formando um composto estável chamado carboxi-hemoglobina. Essa ligação inativa a hemoglobina e impede o transporte de oxigênio para as células. A ligação entre o monóxido de carbono e a hemoglobina é 200 vezes mais forte que aquela estabelecida entre o oxigênio e a hemoglobina.
17. As figuras A e B mostram o movimento do diafragma durante a inspiração e a expiração do ar, respectivamente. Na inspiração, o diafragma se contrai (assim como os músculos intercostais), aumentando

o volume da caixa torácica. Com isso, a pressão no interior da cavidade torácica se torna menor que a do ar atmosférico, o que faz com que o ar penetre nos pulmões. Na expiração, o diafragma relaxa (assim como os músculos intercostais), o que provoca a redução do volume torácico, fazendo com que a pressão na cavidade fique maior que a pressão atmosférica e resultando na saída de ar.

Estudo para o Enem

18. D

A hipóxia, ou mal das alturas, é causada pela menor saturação da hemoglobina com o gás oxigênio. Em altitudes elevadas, o ar é rarefeito e a pressão parcial do O_2 é menor do que ao nível do mar.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Identificar padrões em fenômenos e processos vitais dos organismos, como manutenção do equilíbrio interno, defesa, relações com o ambiente, sexualidade, entre outros.

19. C

O surgimento da respiração pulmonar em todas as fases do desenvolvimento dos indivíduos é representado pelo número 3. Os répteis foram os primeiros indivíduos a conquistar o ambiente terrestre, e a respiração pulmonar foi um dos fatores importantes

para essa conquista. Esse tipo de respiração otimiza as trocas gasosas, propiciando maior quantidade de oxigênio, processo também presente nas aves e mamíferos.

Competência: Entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos.

Habilidade: Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.

20. A

A redução do oxigênio atmosférico impacta diretamente a produção de energia aeróbica produzida na respiração celular, o que promove uma sobrecarga no sistema respiratório, fazendo com que a frequência respiratória aumente e o organismo, para se adaptar, produza maior número de hemácias para otimizar o transporte de O_2 e, conseqüentemente, melhorar o desempenho aeróbico do indivíduo.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Reconhecer mecanismos de transmissão da vida, prevendo ou explicando a manifestação de características dos seres vivos.

18 SISTEMA CIRCULATÓRIO COMPARADO

Comentário sobre o módulo

A abordagem comparativa entre os diferentes sistemas circulatórios é citada com enfoque no desenvolvimento de estruturas e adaptações fisiológicas. A evolução da circulação fechada, que relaciona a anatomia e a fisiologia com o sistema respiratório, é tratada para a melhor compreensão das diferentes estruturas que o compõem. O conteúdo também cita a associação entre o sistema respiratório e o sistema circulatório, que faz o transporte de seus gases juntamente com as demais substâncias sanguíneas.

Para ir além

No conteúdo da revista *Galileu* são abordadas a quantidade de corações e outras curiosidades sobre as minhocas. Disponível em:

<http://galileu.globo.com/edic/92/nossa_terra1.htm>.

Acesso em: fev. 2019.

O vídeo do Museu de História Natural da UFMG mostra, de forma ilustrativa, o sistema circulatório no corpo humano. Disponível em:

<<https://www.youtube.com/watch?v=xbigwDRtFwo>>.

Acesso em: fev. 2019.

Exercícios propostos

7. B

A circulação dupla e completamente separada ocorre no coração dos répteis crocodylianos (jacarés e crocodilos), bem como em todas as aves e mamíferos.

8. A

A circulação sanguínea ocorre de forma unidirecional, ou seja, passando somente uma única vez pelas câmaras cardíacas. Os peixes possuem uma circulação simples e completa, já que a circulação sanguínea ocorre somente com sangue venoso (pobre em oxigênio), não havendo a mistura com sangue arterial, como representado de forma detalhada na figura do enunciado.

9. $01 + 32 = 33$

Os representantes do filo artrópodes possuem sistema circulatório aberto (lacunar). Os representantes do filo anelídeos apresentam sistema circulatório fechado. O sistema respiratório traqueal ocorre em insetos. Os anelídeos terrestres realizam respiração cutânea. O pigmento respiratório hemoglobina ocorre em minhocas (C).

10. **a)** o sangue venoso presente na cavidade X (átrio esquerdo), da figura II, passa para o ventrículo

e é bombeado para os pulmões (circuito 1). O sangue arterial retorna ao coração pela cavidade Z (átrio esquerdo), é bombeado para o ventrículo (Y) e enviado para o circuito 2, correspondente à circulação sistêmica.

b) O sangue venoso presente na cavidade X (átrio direito) é enviado para a cavidade Y (ventrículo direito) e bombeado para as artérias pulmonares, atingindo o circuito 1 (pulmões). O sangue arterial retorna para a cavidade W (átrio esquerdo) e é enviado para a cavidade Z (ventrículo esquerdo), de onde é bombeado para a artéria aorta em direção ao circuito 2, correspondente à circulação sistêmica.

c) Figura II.

d) Figura I: peixes; figura II: répteis não crocodylianos; figura III: mamíferos.

11. C

Em répteis crocodylianos ocorre mistura parcial de sangue, fora do coração, no orifício denominado forame de Panizza.

12. $01 + 04 + 16 = 21$

Os nematoides são vermes dotados de uma cavidade corpórea pseudocelomática. Os turbelários são animais acelomados. Em um animal com sistema circulatório fechado, o sangue circula do coração para as artérias capilares e para as veias e retorna ao coração.

13. D

O coração dos peixes é bicavitário, isto é, possui um átrio e um ventrículo.

14. Os peixes, ao contrário da maioria dos demais vertebrados, têm coração com apenas duas cavidades: um átrio e um ventrículo. A circulação nos peixes é simples e completa. Simples, porque o sangue passa pelo coração apenas uma vez em cada circuito completo pelo corpo; e completa, porque não há mistura do sangue pobre em oxigênio com o sangue rico em oxigênio. Somente sangue pobre em oxigênio, vindo do corpo, passa pelo coração. Anfíbios adultos têm coração com três cavidades: dois átrios e um ventrículo. A circulação é dupla e incompleta. Dupla, porque o sangue pobre em oxigênio é bombeado do coração para os pulmões e para a pele, onde será oxigenado; e o sangue rico em oxigênio, em vez de ser enviado diretamente para o corpo, retorna para o coração para ser bombeado para o corpo. Incompleta, porque ocorre a mistura, no coração,

do sangue rico com o sangue pobre em oxigênio. Répteis em geral possuem coração com três cavidades e circulação dupla e incompleta, como ocorre com os anfíbios. Crocodilos e jacarés, no entanto, têm o ventrículo completamente separado em duas cavidades (esquerda e direita), o que faz com que a circulação seja considerada completa. Aves e mamíferos apresentam dois átrios e dois ventrículos e a circulação é dupla e completa.

15. A

Os anfíbios possuem uma circulação fechada dupla e incompleta. No coração dos anfíbios adultos ocorre mistura de sangue arterial com venoso.

16. A

As trocas entre os capilares sanguíneos e os tecidos ocorrem porque os capilares são formados por camada tecidual única, isto é, o endotélio é formado por uma camada de células.

17. A artéria aorta corresponde à letra A do gráfico, local onde se desenvolvem os maiores valores de pressão arterial. As grandes veias correspondem à letra E, pois a pressão sanguínea, em seu interior, é baixa.

Estudos para o Enem

18. A

As aves apresentam coração tetracavitário, com dois átrios e dois ventrículos, e sua circulação é fechada, dupla e completa. Desse modo, o sistema circulatório desses animais se torna rápido e eficiente o suficiente para suprir as suas elevadas demandas de transporte.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Identificar padrões em fenômenos e processos vitais dos organismos, como manutenção do equilíbrio interno, defesa, relações com o ambiente, sexualidade, entre outros.

19. C

O sistema respiratório desses animais é traqueal e sua circulação aberta é eficiente apenas em animais de pequeno porte. O processo de difusão é lento e a falta das estruturas anatômicas de distribuição resulta em baixa pressão, suficiente apenas para alcançar pequenas distâncias.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Identificar padrões em fenômenos e processos vitais dos organismos, como manutenção do equilíbrio interno, defesa, relações com o ambiente, sexualidade, entre outros.

20. C

O coração dos vertebrados apresenta estruturas distintas: peixes apresentam duas cavidades (1 átrio e 1 ventrículo), anfíbios três cavidades (2 átrios e 1 ventrículo), répteis não crocodilianos três cavidades (2 átrios e 1 ventrículo, parcialmente dividido), répteis crocodilianos, aves e mamíferos têm quatro cavidades (2 átrios e 2 ventrículos).

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Identificar padrões em fenômenos e processos vitais dos organismos, como manutenção do equilíbrio interno, defesa, relações com o ambiente, sexualidade, entre outros.

19 SISTEMA CIRCULATORIO HUMANO

Comentário sobre o módulo

Doenças do sistema cardiovascular (como hipertensão, aterosclerose e insuficiência cardíaca) são alvos de pesquisas, que resultam em avanços na Medicina. Implantes de corações artificiais já são realidade no Brasil, e diversos estudos de tecnologia e inteligência artificial procuram identificar e monitorar doenças cardíacas.

Abordamos em detalhes a distinção entre veias e artérias quanto ao direcionamento do fluxo sanguíneo. Estudamos também as demais estruturas dos sistemas circular e linfático.

Para ir além

Reportagem da BBC sobre corações artificiais e como pacientes implantados vivem com esse recurso. Disponível em:

<<https://www.bbc.com/portuguese/geral-42905447>>.

Acesso em: dez. 2018.

Este texto da revista *Pesquisa Fapesp* trata do sucesso de transplantes de coração desde o início desse tipo de cirurgia. Disponível em:

<<http://revistapesquisa.fapesp.br/2018/04/19/coracoes-trocados/>>.

Acesso em: dez. 2018.

Exercícios propostos

- 7. C**
A pressão hidrostática do sangue é maior nas artérias (vaso B) que nas veias (vaso A), em razão da sístole do ventrículo esquerdo do coração.
- 8. C**
No coração humano, a saída do sangue rico em oxigênio (arterial) acontece pela artéria aorta.
- 9. E**
A hematose é a troca gasosa entre o sangue e os pulmões, transformando sangue venoso (pobre em oxigênio) em sangue arterial (rico em oxigênio). O sangue que chega aos pulmões é venoso. A veia pulmonar transporta sangue arterial dos pulmões para o átrio esquerdo do coração. A artéria pulmonar transporta sangue venoso para os pulmões.
- 10. a)** A seta Y representa a válvula atrioventricular direita, que impede o refluxo do sangue para o átrio direito e direciona o sangue para apenas uma direção: do átrio direito para o ventrículo direito. As veias pulmonares desembocam no átrio esquerdo do coração.
- b)** A estrutura apontada pela seta X corresponde ao septo ventricular (cardíaco), que separa o ventrículo esquerdo do direito e impede que o sangue venoso (pobre em oxigênio) se misture com o sangue arterial (oxigenado).
- 11. E**
As veias, em geral, transportam sangue venoso, rico em gás carbônico. A pressão arterial é aquela exercida sobre as artérias. Na grande circulação, o sangue percorre o trajeto coração – corpo – coração. A pessoa é considerada hipertensa quando a pressão arterial, na média, se mantém com valores acima de 140/90 mmHg. A aorta transporta sangue arterial, rico em oxigênio.
- 12. A**
A construção de um protótipo de coração humano deverá conter estruturas análogas às válvulas atrioventriculares, as quais impedem o refluxo de sangue dos ventrículos para os átrios.
- 13. B**
As veias jugulares transportam o sangue venoso da cabeça em direção ao coração, desembocando na veia cava superior.
- 14. B**
A artéria aorta está representada pelo número 4, em que o sangue oxigenado é bombeado do ventrículo esquerdo para a artéria aorta. As veias cavas estão representadas pelo número 3, região pela qual o sangue é levado dos órgãos em que foram oxigenados para o coração.
- 15.** (01), (02), (04), (08) e (16).
- 16.** A artéria aorta tem o maior diâmetro do corpo humano. Seu rompimento causa um quadro hemorrágico grave. Embora a velocidade de fluxo do sangue em seu interior seja baixa, a pressão exercida em sua parede é muito alta.
- 17. a)** As artérias coronárias são ramificações da artéria aorta que se voltam para o miocárdio. Além disso, transportam um suprimento de sangue arterial, de modo a prover o miocárdio de oxigênio e nutrientes.
- b)** Por meio da válvula atrioventricular direita (que impede o refluxo de sangue do ventrículo direito para o átrio direito) e da válvula atrioventricular esquerda, também chamada mitral (que impede o refluxo de sangue do ventrículo esquerdo para o átrio esquerdo).

Estudo para o Enem

18. B

A demonstração de William Harvey sugeriu a existência de válvulas no interior das veias que facilitam o retorno em direção ao coração.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Interpretar modelos e experimentos para explicar fenômenos ou processos biológicos em qualquer nível de organização dos sistemas biológicos.

19. C

De acordo com o eletrocardiograma, o paciente apresenta frequência cardíaca abaixo do valor ideal, em torno de 50 batimentos por minuto.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Interpretar modelos e experimentos para explicar fenômenos ou processos biológicos em qualquer nível de organização dos sistemas biológicos.

20. A

As varizes são formadas por veias obstruídas por coágulos anormais.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Reconhecer mecanismos de transmissão da vida, prevendo ou explicando a manifestação de características dos seres vivos.

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO DO
SISTEMA DE ENSINO DOMESTICO

20 SISTEMA URINÁRIO

Comentário sobre o módulo

A abordagem anatômica e fisiológica do sistema urinário humano é realizada com enfoque na direção do fluxo sanguíneo das artérias e veias e nas funções do sistema renal, o qual, além de eliminar substâncias em excesso, descarta aquelas que são prejudiciais e que resultam de processos metabólicos celulares, como os excretas nitrogenados.

Para ir além

Texto sobre estudantes de engenharia da África do Sul que criaram tijolos ecologicamente sustentáveis feitos com base em urina humana. Disponível em:

<<https://www.bbc.com/portuguese/geral-45973131>>.

Acesso em: mar. 2019.

Nesta reportagem, especialistas recomendam a observação da cor da urina para ajudar no diagnóstico precoce de problemas de saúde, pois a coloração da urina pode ser indicativo de doenças renais. Disponível em:

<<https://drauziovarella.uol.com.br/geral/cor-da-urina-pode-indicar-doencas-renais/>>.

Acesso em: mar. 2019.

Exercícios propostos

7. C

A liberação do hormônio antidiurético acontece em casos de desidratação e diminuição da pressão arterial, pois atua na reabsorção de água pelos rins. Assim, quando ocorrem vômitos, sua liberação é estimulada, evitando-se perda excessiva de água.

8. B

A reabsorção de glicose nos túbulos renais ocorre por transporte ativo, uma vez que a concentração sanguínea desses monossacarídeos excede a concentração no filtrado glomerular. Dessa forma, a glicose é transportada de um meio hipotônico (filtrado) para um meio hipertônico (sangue) com consequente consumo energético.

9. F – F – V – V – F

O hormônio antidiurético ou vasopressina (ADH) é produzido no hipotálamo e secretado pela neuro-hipófise. A aldosterona é um hormônio secretado pelo córtex das glândulas adrenais. O fator natriurético atrial é liberado quando a pressão arterial está alta.

10. Após a meia maratona, verifica-se um aumento na turbidez da urina dos atletas. Isso decorre da diminuição do volume de água eliminada na urina. Durante a corrida, a sudorese é intensa e, conseqüentemente, a neuro-hipófise secreta o hormônio antidiurético (ADH), o qual estimula a reabsorção de água nos túbulos renais, impedindo que o atleta sofra uma desidratação que possa comprometer suas atividades vitais.

11. B

A ação de um diurético poderia estar relacionada à diminuição do hormônio antidiurético, também chamado de vasopressina (ADH), pois este aumenta a permeabilidade dos rins em relação à água, especialmente do túbulo distal, do túbulo coletor e do ducto coletor, evitando-se a perda de água. Em concentrações baixas de ADH, os rins excretam grandes quantidades de urina diluída, podendo reduzir a pressão arterial.

12. A

No glomérulo renal (glomérulo capilar ou glomérulo de Malpighi), o sangue é filtrado e passa para a cápsula de Bowman (cápsula renal). A seguir, ele vai para o interior do túbulo contorcido proximal, para a alça de Henle (alça néfrica) e para o tubo distal, que desemboca no ducto coletor.

13. $01 + 04 + 08 + 16 = 29$.

Em condições normais, a urina de um indivíduo saudável não revela presença de glicose.

14. a) A ureia é produzida no fígado e é produto do metabolismo especialmente das proteínas (formadas por aminoácidos).

b) Para o aumento do volume sanguíneo, pode ocorrer a liberação do hormônio ADH (que estimula a reabsorção de água pelos néfrons) e de aldosterona (que estimula a reabsorção de sódio e, conseqüentemente, de água). Para a redução da acidose sanguínea, os néfrons excretam grandes quantidades de íons hidrogênio (H^+), por meio de transporte ativo.

15. A

O hormônio antidiurético produzido por neurônios hipotalâmicos é secretado pela neuro-hipófise e aumenta a reabsorção renal da água. Isso contribui para reduzir a pressão osmótica do sangue.

16. E

O transporte ativo de solutos, do filtrado glomerular para a corrente sanguínea, ocorre nos túbulos contorcidos proximal e distal.

17. a)

Substância	Concentração no sangue que chega ao néfron relativa à concentração na urina			Concentração no sangue que chega ao néfron relativa à concentração no sangue que deixa o néfron		
	maior	menor	equivalente	maior	menor	equivalente
Aminoácidos	x					x
Glicose	x					x
Ureia		x			x	

b) A água filtrada na cápsula do néfron é reabsorvida passivamente por osmose ao longo dos túbulos renais.

Estudo para o Enem

18. A

A formação de urina pelos rins envolve a sequência de três processos: 1. filtração glomerular, que forma o filtrado glomerular; 2. reabsorção, processo que ocorre ao longo do túbulo e reabsorve água e substâncias importantes que foram filtradas; 3. secreção, que controla o pH sanguíneo.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Identificar padrões em fenômenos e processos vitais dos organismos, como manutenção do

equilíbrio interno, defesa, relações com o ambiente, sexualidade, entre outros.

19. D

Em situação de risco de desidratação, a ação do hormônio antidiurético (ADH) amplifica a reabsorção de água nos túbulos renais. Consequentemente, os estudantes eliminam urina com menor volume de água e maior concentração de sais minerais.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Identificar padrões em fenômenos e processos vitais dos organismos, como manutenção do equilíbrio interno, defesa, relações com o ambiente, sexualidade, entre outros.

20. E

A deficiência do hormônio antidiurético (ADH) causa o aumento do volume de água eliminado na diurese. Consequentemente, um sintoma clássico de pacientes acometidos por diabetes insípido é a desidratação.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Identificar padrões em fenômenos e processos vitais dos organismos, como manutenção do equilíbrio interno, defesa, relações com o ambiente, sexualidade, entre outros.

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO DO SISTEMA DE ENSINO

21 EXCREÇÃO E HOMEOSTASE

Comentário sobre o módulo

O sistema urinário é responsável por regular a pressão osmótica, o nível de pH e a concentração de íons sanguíneos, fatores imprescindíveis para a manutenção da homeostase.

Neste módulo, ressaltamos a necessidade de relacionar a importância evolutiva do surgimento do sistema urinário à conquista do ambiente terrestre pelos animais. É importante deixar claro que excretas muito tóxicas, como a amônia, apresentam alta solubilidade. Assim, sua eliminação resulta na elevada perda de água. Isso acaba sendo recompensado pela grande ingestão de água dos animais aquáticos. Já os terrestres não podem eliminar tanta água, porque são incapazes de fazer essa compensação. Dessa forma, precisam eliminar excretas menos tóxicas e menos solúveis para economizar água.

Para ir além

No *link* a seguir, confira o caso da espécie de tartaruga que urina pela boca a fim de excretar ureia. Disponível em:

<https://www.bbc.com/portuguese/videos_e_fotos/2012/10/121012_tartaruga_rp>.

Acesso em: mar. 2019.

Leia a respeito da pesquisa sobre a combinação de nanotubos de carbono com chumbo ou pesticidas, a qual potencializa efeitos tóxicos sobre o sistema urinário e a homeostase nos peixes. Disponível em:

<<http://revistapesquisa.fapesp.br/2014/12/29/interacoes-fatais/>>.

Acesso em: mar. 2019.

Exercícios propostos

7. D

A ureia é produzida no fígado e é produto do metabolismo, especialmente das proteínas (formadas por aminoácidos). Peixes cartilaginosos e mamíferos são animais ureotélicos. Aves e répteis são uricotélicos. Já os peixes ósseos são animais amoniotélicos.

8. A

Os metanefrídeos presentes em anelídeos e moluscos removem excretas da cavidade celomática e do sangue. Os excretas, nas aves, são eliminados com as fezes, pois esses animais não têm bexiga urinária. Poríferos e cnidários não apresentam sistema urinário. Assim, suas excreções são realizadas pelo mecanismo de difusão. Em platelmintos, as células-flama filtram o fluido e o direcionam para os nefridióporos presentes na parede corporal dos indivíduos, a fim de serem eliminados.

9. C

A maioria dos répteis (incluindo as aves) excreta ácido úrico, que é pouco solúvel em água.

10.

a) Os dois grupos de mamíferos excretam, predominantemente, a ureia.

b) Carnívoros estritos. Esses animais excretam mais ureia que os herbívoros estritos, porque ingerem alimento com alto teor de proteínas.

11. A

A borboleta é um inseto e excreta o ácido úrico. A lula é um molusco aquático e elimina a amônia como produto nitrogenado. O avestruz é uma ave e, tal qual os insetos, elimina o ácido úrico.

12. B

No peixe A, a excreção de sais pelas brânquias ocorre de forma ativa. No peixe B, a absorção de sais é ativa e a de água é passiva, por osmose.

13. C

O peixe em estresse osmótico, originalmente, eliminava menos urina e reabsorvia menos sais, sendo hipotônico em relação ao meio em que vivia. Ao passar para uma região com maior concentração salina, começou a absorver mais sais e consumir mais água para excretá-los na urina.

14.

A amônia é um composto nitrogenado muito solúvel e tóxico. Por esse motivo, deve ser eliminada logo após sua produção. Animais que excretam diretamente a amônia vivem normalmente em ambientes aquáticos. Podem-se citar os peixes ósseos e os girinos de anfíbios, os quais excretam amônia principalmente pelas brânquias. Em aves, a ausência de bexiga urinária e a excreção de ácido úrico com as fezes diminuem o peso específico do animal e facilitam o voo. Em répteis, a excreção fecal de ácido úrico resulta em economia de água e melhor adaptação desses animais às regiões áridas.

15. A

Insetos, répteis e aves, por viverem em ambiente terrestre, excretam ácido úrico (baixa toxicidade), insolúvel em água, removido na forma sólida, a fim de economizar água. Invertebrados aquáticos excretam amônia, substância de alta toxicidade e solubilidade. Mamíferos e anfíbios adultos excretam ureia, substância de média toxicidade e solubilidade.

16. B

As estruturas excretoras indicadas em I, II e III referem-se, respectivamente, aos sistemas urinários de anelídeos, crustáceos e insetos. Os moluscos apresentam metanefrídeos, enquanto nos anfíbios são os rins que representam as estruturas excretoras.

17.

O tipo de excreta nitrogenado depende de seu grau de toxicidade e do ambiente onde o animal vive. A maioria dos peixes ósseos, como a sardinha, dispõe de muita água por serem animais aquáticos. Assim, podem eliminar amônia com pouco gasto energético. E, mesmo que a amônia seja muito tóxica, ela é diluída no ambiente. Os insetos, representados na questão pela abelha, precisam economizar água e, portanto, eliminar um excreta com baixíssima toxicidade, como o ácido úrico. Os mamíferos, como o cachorro, eliminam ureia, substância de média toxicidade.

Estudo para o Enem**18. B**

O sistema urinário contribui para a homeostase, principalmente por promover a osmorregulação. Este é um processo que regula a concentração de água e sais minerais para manter o equilíbrio osmótico do organismo. O sistema urinário também age na regulação do equilíbrio ácido-base, importante para a manutenção do pH do plasma sanguíneo. Além disso, atua no controle da concentração de íons, elementos fundamentais ao funcionamento de muitos processos fisiológicos, a exemplo da geração de potenciais de ação no sistema nervoso.

Competência: Compreender interações entre os organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana relacionando

conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Identificar padrões em fenômenos e processos vitais dos organismos, como manutenção do equilíbrio interno, defesa, relações com o ambiente, sexualidade, entre outros.

19. B

A maioria dos répteis é terrestre e excreta ácido úrico, substância menos tóxica e que provoca menos perda de água. Os répteis aquáticos, como a tartaruga-marinha, excretam ureia, um composto de média toxicidade.

Competência: Compreender interações entre os organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Compreender o papel da evolução na produção de padrões, processos biológicos ou na organização taxonômica dos seres vivos.

20. B

A eliminação de excretas nitrogenadas de forma concentrada é uma estratégia que auxilia na sobrevivência de animais que habitam regiões com restrição hídrica.

Competência: Compreender interações entre os organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Identificar padrões em fenômenos e processos vitais dos organismos, como manutenção do equilíbrio interno, defesa, relações com o ambiente, sexualidade, entre outros.

22 SISTEMA IMUNITÁRIO HUMANO

Comentário sobre o módulo

Os processos de defesa do corpo humano contra agentes estranhos e infecciosos são realizados pelo sistema imunitário. Ele é quem protege o corpo humano por meio de barreiras físicas, químicas, processos inflamatórios e a produção de anticorpos específicos para cada antígeno. Os movimentos antivacinas têm crescido em vários países, inclusive no Brasil, o que pode ser um dos motivos para a volta de alguns surtos de doenças, como o sarampo.

Para ir além

Material sobre a importância do aleitamento materno para suprir as necessidades nutricionais e garantir a imunidade do bebê. Disponível em:

<<http://portalms.saude.gov.br/saude-para-voce/saude-da-crianca/aleitamento-materno>>.

Acesso em: mar. 2019.

Confira a matéria da *Superinteressante* sobre a imunoterapia contra o câncer que ganhou o prêmio Nobel de Medicina de 2018. Disponível em:

<<https://super.abril.com.br/ciencia/nobel-de-medicina-2018-vai-para-os-pais-da-imunoterapia-contr-o-cancer/>>.

Acesso em: mar. 2019.

Exercícios propostos

7. A

A vacina contra a dengue contém quatro tipos de antígenos que estimulam a produção de quatro tipos de anticorpos, na resposta imunológica primária.

8. E

A resposta imunológica secundária do paciente, após a segunda exposição ao antígeno, foi mais rápida e mais intensa, em relação às imunoglobulinas IgG, devido à ação da memória imunológica dos linfócitos sensibilizados na primeira exposição ao antígeno.

9. D

Os anticorpos monoclonais facilitam o combate de antígenos específicos, como de cânceres. Os anticorpos são imunoglobulinas e não possuem memória; os linfócitos B são tipos celulares de memória. Os anticorpos monoclonais não se relacionam à diapedese, que é a passagem dos leucócitos do sangue para os tecidos; macrófagos e neutrófilos é que realizam a fagocitose. Os anticorpos monoclonais não aceleram a destruição de células tumorais e a associação é entre o anticorpo e partes específicas do antígeno, chamadas de epítipo. A utilização de anticorpos monoclo-

nais reduz os efeitos colaterais, já que têm ação específica, agindo apenas nas células tumorais.

10. A imunidade humoral se expressa com a participação de proteínas especiais presentes no plasma sanguíneo denominadas anticorpos. Esses são produzidos pelos linfócitos B maduros ou plasmócitos e deverão inativar os antígenos fora do ambiente celular, por meio de uma reação altamente específica. A imunidade celular é executada na ausência de anticorpos diretamente pelos linfócitos T, que reconhecem, a partir da presença de receptores de membrana em sinapses imunológicas, as células anormais ou infectadas do corpo de forma a promover a sua destruição. Tanto a humoral quanto a imunidade celular são consideradas respostas específicas do sistema imunitário.

11. E

As vacinas contêm antígenos, tais como microrganismos mortos ou enfraquecidos ou parte desses. A inoculação de antígenos no organismo humano induz à produção de anticorpos e à formação de linfócitos que compõem a memória imunológica.

12. A

O soro antiescorpiônico é uma solução de anticorpos específicos (imunoglobulinas) contra o veneno, extraídos do sangue de cavalos previamente imunizados com o veneno do escorpião.

13. E

Na resposta imunitária secundária, o tempo para a produção de anticorpos é menor e mais rápido, comparando-se com a resposta imunitária primária, na qual a produção de anticorpos é mais lenta e menos intensa.

14. O produto I é o soro antirrábico que contém anticorpos específicos, produzidos pelos equinos que foram previamente hipersensibilizados com o vírus da raiva, cuja finalidade é neutralizar rapidamente esse vírus. O produto II é uma vacina preparada com o vírus da raiva concentrado inativado e purificado. A vacina contém os antígenos que induzem o organismo a produzir anticorpos e linfócitos de memória específicos.

15. F - F - F - V - F

As tonsilas e o baço são órgãos linfoides secundários, locais onde ocorrem as respostas imunológicas; o apêndice cecal é uma pequena bolsa tubular localizada no intestino grosso, anteriormente considerado um órgão vestigial, mas diversas

pesquisas identificaram a presença de bactérias que auxiliam na digestão e concentração de linfócitos, relacionando-o ao sistema imunológico. Os linfócitos B (plasmócitos) produzem anticorpos, os linfócitos T4 alertam o sistema imunológico para a necessidade de combater antígenos, os linfócitos T8 ou citotóxicos destroem as células que estiverem infectadas, e os linfócitos B são produzidos e amadurecidos na medula óssea, enquanto os linfócitos T são produzidos na medula óssea e migram para o timo para amadurecimento. A remoção das tonsilas diminui a produção de células que apresentam anticorpos, especialmente na região em que foram retiradas; as células dendríticas (transmissoras de antígenos aos linfócitos T) localizam-se nos tecidos periféricos não linfoides, num estado imaturo, e são ativadas quando ocorre um processo infeccioso ou inflamatório. As tonsilas apresentam papel semelhante ao dos linfonodos, filtrando a linfa, porém as tonsilas ficam nas entradas das vias respiratórias e digestórias, enquanto os linfonodos se localizam em posições estratégicas do corpo, como axilas, pescoço e virilhas.

16. C

A queda na cobertura vacinal ao longo dos últimos anos tem sido propiciada pelos movimentos antivacinas pelo mundo. A vacina é o único meio de prevenir diversas doenças, porque contém antígenos que estimulam a resposta imunológica ativa em pessoas saudáveis.

17. a) O sarampo é causado por vírus e transmitido por meio de gotículas exaladas da tosse e/ou secreções nasais e faringeanas dos doentes.

b) As vacinas contêm antígenos atenuados, mortos ou toxoides, que estimulam o organismo a produzir anticorpos e desenvolver linfócitos de memória.

c) Os anticorpos produzidos pela mãe passam para o filho através da placenta e da amamentação.

Estudo para o Enem

18. D

Os imunobiológicos I e II são compostos de antígenos que estimulam a produção de anticorpos em humanos e animais.

Competência: Entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos.

Habilidade: Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.

19. B

As campanhas de vacinação para a prevenção da rubéola, em especial entre homens jovens, são fundamentais para evitar a síndrome da rubéola congênita, porque os homens podem transmitir o vírus a mulheres gestantes.

Competência: Entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos.

Habilidade: Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.

20. B

É difícil produzir uma vacina eficiente contra a dengue porque existem diversos subtipos do vírus, e alta variabilidade antigênica causada por mutações do vírus da febre amarela.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Identificar padrões em fenômenos e processos vitais dos organismos, como manutenção do equilíbrio interno, defesa, relações com o ambiente, sexualidade, entre outros.

Exercício interdisciplinar

21. $02 + 04 + 08 + 16 = 30$.

(01) Incorreto. A aorta leva o sangue do ventrículo esquerdo para os outros órgãos.

(02) Correto. As funções matemáticas são crescentes. Os diâmetros da aorta aumentam com a idade e variam de acordo com o sexo.

(04) Correto. Se a idade for uma constante, então a diferença entre ambos se dará independentemente da função. A diferença entre os diâmetros da aorta ascendente e da aorta descendente é de 1 cm e se mantém mesmo com o aumento da idade do indivíduo.

(08) Correto. Sistema circulatório característico de aves e mamíferos.

(16) Correto. Calculando $D(50) = 31 + 0,16 \cdot 50 = 31 + 8 = 39$ mm; $d(50) = 21 + 0,16 \cdot 50 = 21 + 8 = 29$ mm. Como a diferença entre os diâmetros das porções ascendente e descendente da aorta é de 1 cm, ou 10 mm, é correto afirmar que um indivíduo típico de 50 anos deva ter, respectivamente, 39 mm e 29 mm.

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO



Pearson

PRÉ-VESTIBULAR
EXTENSIVO

3

