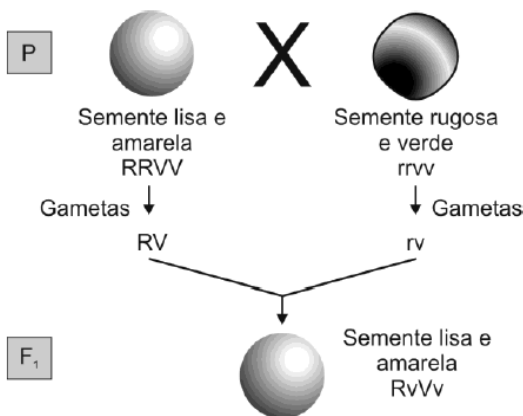


Lei da Segregação Independente

A primeira lei de Mendel tratou de esclarecer casos em genética em que o fenótipo era condicionado por um par de alelos - Monoibridismo. A Segunda Lei proposta por Mendel, explica a **expressão fenotípica caracterizada por dois ou mais pares de alelos. Neste caso, esta lei correlaciona-se com os casos de diibridismo (com 2 pares envolvidos), triibridismo (com 3 pares) e poliibridismo (vários pares).**

Mendel utilizou plantas de linhagens puras para um novo cruzamento, mas considerando os caracteres forma e cor da semente. Assim, escolheu plantas que produziam ervilhas amarelas e lisas, e as cruzou com plantas de ervilhas verdes e rugosas.



Essa geração parental pura produziu uma geração F1 com 100% de ervilhas amarelas e lisas (heterozigotas). Sabendo-se a existência de dominância entre os alelos, o resultado de F1 era esperado. Como os parentais puros eram homocigotos, VVRR e vvrr, acabaram produzindo gametas VR e vr respectivamente. Na fecundação, produziram um descendente de célula diploide com genótipo em heterozigose, VvRr. Mendel promoveu a autofecundação das plantas da geração F1 e o resultado obtido foi:

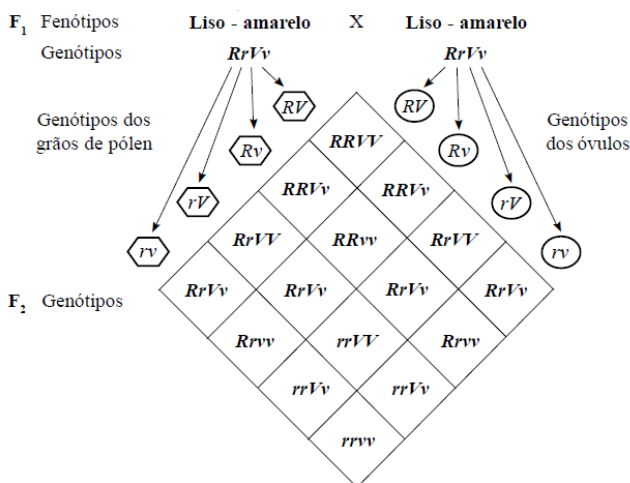


Figura 11. Modelo de um cruzamento mendeliano diibrido. Os genótipos da geração P foram representados como Mendel os teria representado. O quadro de cruzamento mostra a origem de F₂ a partir de grãos de pólen e óvulos de F₁ (os genótipos como representados atualmente).

A proporção fenotípica obtida para as 16 ervilhas foi de:

- * 9 amarelas e lisas;
- * 3 amarelas e rugosas;
- * 3 verdes lisas;
- * 1 verde e rugosa

Portanto, a proporção fenotípica de **9:3:3:1**.

Mendel observou que as sementes amarelas poderiam expressar-se com forma lisa ou rugosa e, além disso, o mesmo ocorria com sementes verdes rugosas que poderiam expressar-se na combinação verde lisa. Partindo destes dados, propôs então que o caráter "cor amarela" se comportava de forma independente em relação ao caráter "superfície lisa", pois poderia ser encontrado com o caráter "superfície rugosa", tal como para verde lisa e verde rugosa. Com a compreensão do comportamento independente dos fatores ou genes, a segunda lei que Gregor Mendel propôs foi:

"Uma característica condicionada por um par de fatores (alelos) se comporta de forma independente em relação a uma outra característica condicionada por um outro par de fatores (alelos). Sendo assim, durante a formação dos gametas a segregação ou separação de um par de genes é independente da segregação ou separação de outros pares de genes".

INTERAÇÃO GÊNICA – Quando um gene interfere na ação de outro gene, não alelo.

A maioria das características, produzidas geneticamente, é devido a um par de genes alelos atuando de forma independente. Esta é exatamente a base da segunda lei de Mendel (lei da segregação independente), segundo a qual "os fatores para duas ou mais características segregam-se no híbrido, independentemente para os gametas, onde se combinam ao acaso".

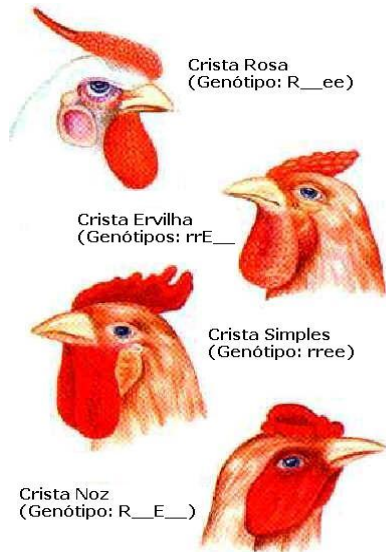
Porém, há casos em que os dois ou mais genes, localizados ou não no mesmo cromossomo, agem de forma conjunta na determinação de uma característica. Esses são os chamados casos de interação gênica, que ocorrem sempre entre genes não alelos.

Há alguns casos clássicos de interação gênica: **genes complementares, epistasia dominante, epistasia recessiva e herança quantitativa.**

Iremos conhecer resumidamente cada um destes processos, aprendendo a diferenciá-los e comparando cada caso com a distribuição padrão da segunda lei de Mendel, no cruzamento entre dois híbridos.

GENES COMPLEMENTARES (9 : 3 : 3 : 1)

Este padrão de interação gênica compreende genes que atuam de forma complementar para determinar um caráter fenotípico. Um clássico exemplo deste mecanismo é o padrão da forma das cristas das galinhas: o gene R (dominante) promove crista Rosa e E (dominante) produz crista Ervilha. Juntos, os dominantes produzem crista Noz e, quando ausentes os dominantes, o caráter é crista Simples.



Padrão da forma da crista de galinha. Percebe-se uma situação de interação gênica em que dois locus interagem para determinar um único fenótipo.

EPISTASIA DOMINANTE (12 : 3 : 1)

Ocorre quando o alelo dominante de um par de alelos age na supressão de outro par. A cor da pelagem de cavalos depende, entre outros fatores, de dois pares de genes: W e B. O alelo W suprime a manifestação da cor e é dominante sobre seu alelo w, que permite a manifestação da cor; o gene B determina pelos pretos e seu alelo b, pelos marrons. Quando o gene W está presente no genótipo, o fenótipo é pelos brancos, pois ele é dominante e suprime a ação dos genes do outro par. Pode-se dizer, então, que o gene W é epistático, enquanto os alelos B e b são hipostáticos.

Outro exemplo de epistasia dominante ocorre no padrão de cor da pelagem de cães, onde o gene epistático I quando inibe a expressão dos outros genes não alelos, responsáveis pela capacidade de promover a síntese do pigmento do pelo (B = preto e b = marrom). Sendo assim, o genótipo I_ _ _ determinará fenótipo pelo branco. Do cruzamento entre cães diíbridos (duplo-heterozigotos) teríamos a proporção abaixo:

$$\begin{array}{ccc}
 9 I_B_ & 3 I_bb & : & 3 iiB_ & : & 1 iibb \\
 \downarrow & \downarrow & & \downarrow & & \downarrow \\
 12 \text{ brancos} & 3 \text{ pretos} & & 1 \text{ marrom} & &
 \end{array}$$

EPISTASIA RECESSIVA (9 : 3 : 4)

Nesta, ocorre quando o par de recessivos de um locus aa, por exemplo, suprime a ação de genes de outro par de homólogos, B e b, por exemplo. Ao mesmo tempo, o par de recessivos deste, bb, suprimirá a ação de genes daquele, A e a. Quando ocorrer um duplo par de recessivos, o fenótipo será igual. Quando houver a presença de dominantes em ambos os pares, A_ e B_, eles agirão de forma a produzir um fenótipo diferente. Verificamos este tipo de padrão herança na determinação da pelagem em ratos O

gene P dominante sobre o p produz pelos de pigmento aguti, enquanto o p determina pigmento preto. O gene epistático A permite a expressividade do gene que determina a produção de pigmentos, enquanto o alelo a, quando em homozigose (dose dupla) impede a produção de pigmentos, caracterizando ratos albinos.

SEGUNDA LEI DE MENDEL	GENES COMPLEMENTARES	EPISTASIA DOMINANTE	EPISTASIA RECESSIVA
A - B - 9/16 Flores róseas e largas	R - E - 9/16 Crista Noz	I - B - 9/16 cães brancos	P - A - 9/16 ratos aguti
A - bb 3/16 Flores róseas e estreitas	R - ee 3/16 Crista Rosa	I - b b 3/16 cães brancos	pp A - 3/16 ratos pretos
a a B - 3/16 Flores brancas e largas	rr E - 3/16 Crista Ervilha	ii B - 3/16 cães pretos	P - aa 3/16 ratos albinos
a a b b 1/16 Flor branca e estreita	rr ee 1/16 Crista Simples	ii b b 1/16 cão marrom	pp aa 1/16 rato albino

Exemplo:
A = flor rósea, a = flor branca
B = folha larga, b = folha estreita
Genes não alelos produzem diferentes características. 9 : 3 : 3 : 1

Aqui, ambos os genes (R e E) produzem a mesma característica: crista em galinhas. 9 : 3 : 3 : 1

I = gene epistático sobre B e b
i = gene que não bloqueia B e b
B = produz pelos pretos
b = produz pelos marrons.
12 : 3 : 1

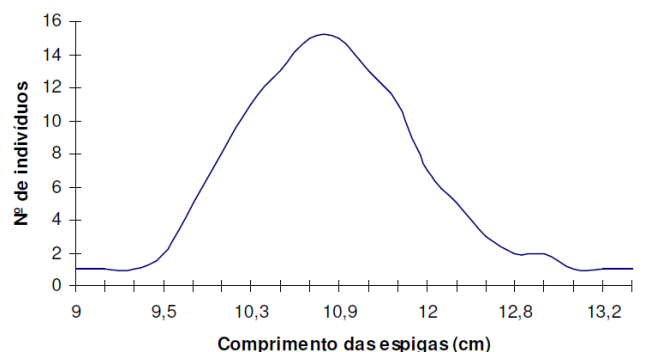
Nota-se que houve diferente distribuição 9 : 3 : 3 : 4, já que as duas últimas categorias agruparam-se.

HERANÇA QUANTITATIVA OU POLIGÊNICA (1 : 4 : 6 : 4 : 1)

Um poligene é definido como um gene que, individualmente, exerce ligeiro efeito sobre um fenótipo, mas em conjugação com alguns ou muitos outros genes, controla um traço quantitativo, tal como o peso de um animal. Na herança mendeliana as gerações F2 e seguintes sempre se dividirão em classes descontínuas, devido às interações existentes entre os alelos, ao passo que na poligenia as interações passam a se comportar como ações, devido a contribuição de vários genes para o fenótipo, mostrando continuidade nos fenótipos dos indivíduos.

Um exemplo característico da ação poligênica foi descoberto por R. A. Emerson e E. M. East (Gardner e Snustad, 1986) e se tornou o trabalho clássico em Genética Poligênica. Uma variedade de milho com espigas médias de 6,6 cm de comprimento foi cruzada com uma variedade tendo as espigas médias de 16,8 cm. A descendência F1 foi intermediária no comprimento da espiga, com média de 12,1 cm, variando de 9 a 15 cm.

A F2 apresentou uma disseminação mais ampla na variação do que a F1, tendo algumas espigas tamanhos tão extremos como as dos pais originais. Esse é o padrão característico dos resultados dos cruzamentos que envolvem traços poligênicos, dependentes de apenas alguns genes. Quando muitos genes estão envolvidos, os extremos da curva representados pelos parentais ocorrem poucas vezes na F2. A figura abaixo mostra o comportamento da F2 quando os caracteres são poligênicos. Percebe-se, nessa figura, que a maioria dos indivíduos estão em torno da média da população e que o fenótipo dos pais estão representados nas extremidades da curva.



Segundo Davenport (1913), a cor da pele na espécie humana é resultante da ação de dois pares de genes (AaBb), sem dominância. Dessa forma, A e B determinam a produção da mesma quantidade do pigmento melanina e possuem efeito aditivo. Logo, conclui-se que deveriam existir cinco tonalidades de cor na pele humana, segundo a quantidade de genes A e B.

Fenótipos	Genótipos
negro	AABB
mulato escuro	AABb, AaBB
mulato médio	AaBb, AAbb, aaBB
mulato claro	Aabb, aaBb
branco	aabb

Vejamos os resultados genotípicos e fenotípicos que seriam obtidos a partir do cruzamento de dois indivíduos mulatos médios, duplo-heterozigotos:

	AB	Ab	aB	ab
AB	AABB Negro	AABb mulato escuro	AaBB mulato escuro	AaBb Púrpura
Ab	AABb mulato escuro	AAbb mulato médio	AaBb mulato médio	Aabb mulato claro
aB	AaBB mulato escuro	AaBb mulato médio	aaBB mulato médio	aaBb mulato claro
ab	AaBb mulato médio	Aabb mulato claro	aaBb mulato claro	aabb Branca

Fenótipos:
1/16 : 4/16 : 6/16 : 4/16 : 1/16
branco mulato claro mulato médio mulato escuro negro

A distribuição das classes fenotípicas pode ser prevista pelo triângulo de Pascal. Neste caso, se focalizarmos a quarta linha, poderemos constatar a distribuição das cinco classes fenotípicas produzidas pelo cruzamento entre os dois diíbridos acima.

			1			
		1	2	1		
	1	3	3	1		
	1	4	6	4	1	
1	5	10	10	5	1	
1	6	15	20	15	6	1

O número de fenótipos que podem ser encontrados, em um caso de herança poligênica, depende do número de pares de alelos envolvidos, que chamamos n.

Nº de Fenótipos = 2n + 1

Se uma característica é determinada por três pares de alelos, sete fenótipos distintos podem ser encontrados. Cada grupo de indivíduos que expressam o mesmo fenótipo constitui uma classe fenotípica.

Sabendo-se o número de pares envolvidos na herança, podemos estimar a frequência esperada de indivíduos que demonstram os fenótipos extremos, em que n é o número de pares de genes.

Frequência dos Fenótipos Extremos = 1/4ⁿ

E A COR DOS OLHOS?

Todo professor de biologia tem que responder, durante as aulas de genética, ao inevitável questionamento sobre como é herdada a cor dos olhos. Contudo, muitos ainda tratam erroneamente essa característica genética como um tipo de herança mendeliana simples, cuja ocorrência é influenciada por um único par de genes associados com a produção de olhos escuros e claros. Essa explicação simplista, porém, não mostra como surge toda a variedade de cores presentes nos olhos e não esclarece por que pais de olhos castanhos podem ter filhos com olhos castanhos, azuis, verdes, ou de qualquer outra tonalidade. **A cor dos olhos é uma característica cuja herança é poligênica**, um tipo de variação contínua em que os alelos de vários genes influenciam na coloração final dos olhos. Isso ocorre por meio da produção de proteínas que dirigem a proporção de melanina depositada na íris. Outros genes produzem manchas, raios, anéis e padrões de difusão dos pigmentos.

PLEIOTROPIA (Um par de genes, várias características)

Pleiotropia (do grego, *pleion* = mais numeroso e *tropos* = afinidade) é o fenômeno em que um par de genes alelos condiciona o aparecimento de várias características no mesmo organismo. A pleiotropia mostra que a ideia mendeliana, de que cada gene afeta apenas uma característica, nem sempre é válida. Por exemplo, certos ratos nascem com costelas espessadas, traqueia estreitada, pulmões com elasticidade diminuída e narinas bloqueadas, o que fatalmente os levará a morte. Todas essas características são devidas à ação de apenas um par de genes, portanto, um caso de pleiotropia.

Na espécie humana, a esclerótica azul (branco do olho) é condicionada por um gene que também condiciona a fragilidade óssea.

Enquanto na interação gênica, dois ou mais pares de genes colabora para a produção de um único caráter, na PLEIOTROPIA um único par de genes determina o aparecimento de várias características diferentes.

Exercícios de aprendizagem

01. (MACKENZIE - 2011) A fibrose cística e a miopia são causadas por genes autossômicos recessivos. Uma mulher míope e normal para fibrose cística casa-se com um homem normal para ambas as características, filho de pai míope. A primeira criança nascida foi uma menina de visão normal, mas com fibrose. A probabilidade de o casal ter outra menina normal para ambas as características é de:

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

02. (UECE - 2009) Em periquitos australianos observam-se, principalmente, as seguintes cores de plumagem: amarela, azul, branca e verde, condicionadas por dois pares de genes de segregação independente e que interagem entre si. Sabendo-se que os indivíduos homocigotos recessivos são brancos; os indivíduos que apresentam em ambos os loci pelo menos um dos alelos dominantes são verdes; e que os indivíduos que apresentam um loci com genes recessivos e o outro com, pelo menos, um alelo dominante ou são azuis ou amarelos, podemos afirmar corretamente que a proporção esperada de um cruzamento de periquitos com ambos os loci heterocigotos é:

- a) Amarela: 9/16; Azul: 3/16; Branca: 3/16; Verde: 1/16.
- b) Amarela: 1/16; Azul: 3/16; Branca: 9/16; Verde: 3/16.
- c) Amarela: 3/16; Azul: 3/16; Branca: 1/16; Verde: 9/16.
- d) Amarela: 3/16; Azul: 1/16; Branca: 3/16; Verde: 9/16.

03. (UECE - 2007) Sabe-se que em porquinhos da Índia o padrão "pelos lisos" domina sobre o padrão "pelos arrepiados", enquanto a cor negra domina sobre a cor branca, estando os genes determinantes destas características situados em pares de cromossomos homólogos diferentes. Cruzando-se porquinhos com padrão liso e de coloração negra, ambos heterocigotos para os dois 'loci', pode-se afirmar, corretamente, que a razão fenotípica de porquinhos arrepiados e brancos é de:

- a) 9:16
- b) 3:8
- c) 3:16
- d) 1:16

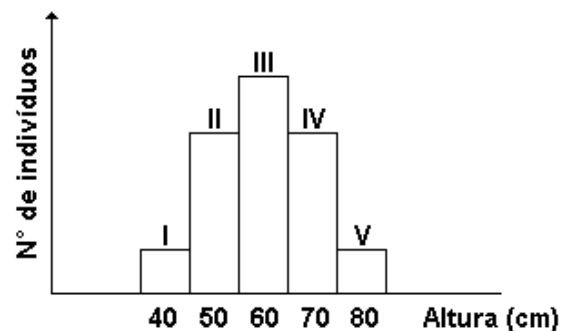
04. (UFAL - 2010) Em galináceos, foram observados quatro tipos de cristas: rosa, ervilha, simples e noz. Quando aves homocigóticas de crista rosa foram cruzadas com aves de crista simples, foram obtidas 75% de aves com crista rosa e apenas 25% com crista simples em F2. Do cruzamento de aves homocigóticas 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. Esses dados indicam que, na herança da forma da crista nessas aves, tem-se um caso de:

- a) Pleiotropia, em que quatro alelos de um loco estão envolvidos.
- b) Interação gênica entre alelos de dois locos distintos.
- c) Epistasia dominante e recessiva.
- d) Herança quantitativa.
- e) Alelos múltiplos.

05. (UEL - 2000) Em certa espécie vegetal, a altura dos indivíduos é determinada por dois pares de alelos de efeito aditivo e segregação independente: cada alelo P e R determina 20 cm de altura e cada alelo p e r determina 10 cm. Assim, os indivíduos PPRR têm 80 cm e os indivíduos ppr, 40 cm. O gráfico a seguir representa a distribuição das classes fenotípicas observada nos descendentes do cruzamento entre heterocigotos PpRr.



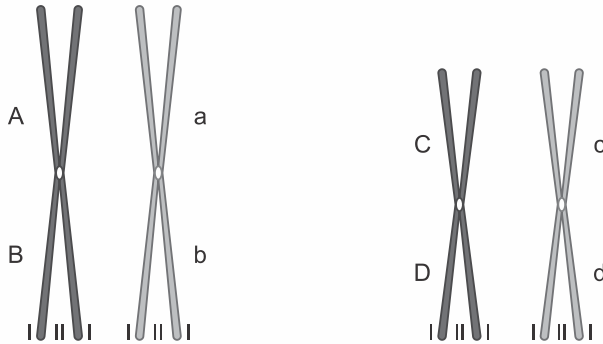
Nesse gráfico, os indivíduos PPRr e Pppr estão incluídos, respectivamente, em:

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

Exercícios de fixação

01. (FAC. PEQUENO PRÍNCIPE - MEDICINA 2020)

Suponha um indivíduo heterozigoto para quatro locus gênicos, distribuídos conforme a imagem. O mecanismo de herança desses genes segue princípios básicos já estabelecidos e está relacionado ao comportamento dos cromossomos durante a meiose



<https://planetabiologia.com/nucleo-celular-funcao-e-estrutura/>

Sobre o processo de meiose dos genes representados acima, é CORRETO afirmar que

- a) os pares de genes Aa e Bb estão em ligação, em posição trans.
- b) os pares de genes Aa, Bb, Cc e Dd possuem segregação independente entre eles.
- c) os pares Aa e Cc podem participar do crossing-over, gerando novas combinações.
- d) se não houver crossing-over entre eles, serão formados apenas dois tipos de gametas.
- e) todos os genes representados obedecem à Primeira Lei de Mendel.

02. (UFRGS 2020) Na espécie de abóbora Cucurbita pepo, a forma do fruto pode ser esférica ou discoide e pode também ocorrer uma variação na cor, apresentando cor de abóbora ou branco-amarelada. O cruzamento de plantas que têm frutos de forma esférica e cor de abóbora, com plantas de frutos de forma discoide e cor branco-amarelada, resultou em uma F1 com o fenótipo discoide e cor de abóbora.

O cruzamento das plantas da geração F1 produziu uma F2 com 224 indivíduos, com os seguintes fenótipos: 126 discoides e cor-de-abóbora; 42 discoides e cor branco-amarelada; 40 esféricas e cor-de-abóbora; 16 esféricas e branco-amarelada.

Considerando a proporção fenotípica em F2, é correto afirmar que

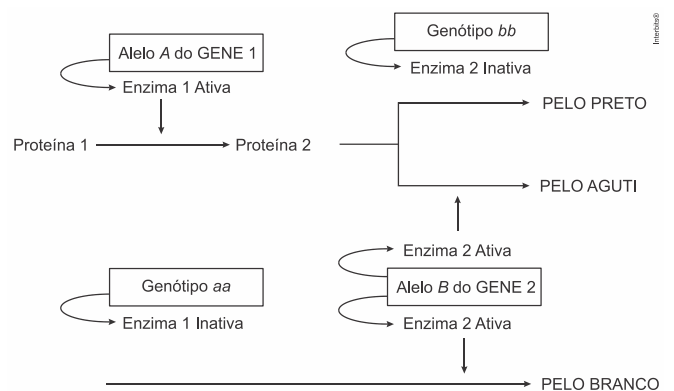
- a) as proporções de cor e de forma dos frutos obtidos indicam que existem alelos múltiplos para cada uma das características no genoma da planta.
- b) os resultados demonstram um tipo de herança condicionada por alelos codominantes.

c) os alelos que condicionam a forma do fruto segregam de forma independente daqueles que condicionam a cor do fruto.

d) os indivíduos da F1 eram homocigotos dominantes.

e) cada um dos alelos apresenta expressividade gênica variável.

03. (UDESC 2019) O esquema a seguir mostra o comportamento de dois genes não ligados em camundongos. O gene 1, com alelos A e a e do gene 2, com alelos B e b. O alelo A do gene 1 produz uma enzima que atua sobre um substrato (Proteína 1). O alelo B do gene 2, sobre um outro substrato (Proteína 2). Os genótipos recessivos não produzem as enzimas ativas. O esquema abaixo mostra os fenótipos possíveis: aguti, preto ou branco.



Ao serem cruzados dois camundongos duplos heterozigotos para os genes A e B, nasceram 80 filhotes, desses espera-se que o número de filhotes com pelo branco seja:

- a) 30
- b) 15
- c) 45
- d) 20
- e) 10

04. (UEMG 2019) Na espécie humana existem algumas características que obedecem à primeira lei de Mendel. Dentre essas características, é possível citar: a polidactilia e as sardas no rosto.

Clarício, que apresenta polidactilia e sardas no rosto, casa-se com Josefina, cujo fenótipo é igual ao do seu marido. Depois de uma análise genética de seus pais, foi determinado que o casal em questão é diíbrido para os dois fenótipos citados. Considerando essas informações, determine a probabilidade de o casal ter uma filha com os mesmos fenótipos citados:

- a) 1/32.
- b) 9/32.
- c) 9/16.
- d) 1/16.

05. (EBMSP 2018) O quadro ilustra o resultado encontrado em um importante experimento realizado pelo monge Gregor Mendel a partir de cruzamentos feitos com exemplares de ervilhas-de-cheiro.

Gametas	VR	Vr	vR	vr
VR	VVRR amarelas lisas	VVRr amarelas lisas	VvRR amarelas lisas	VvRr amarelas lisas
Vr	VVRr amarelas lisas	VVrr amarelas rugosas	VvRr amarelas lisas	Vvrr amarelas rugosas
vR	VvRR amarelas lisas	VvRr amarelas lisas	vvRR verdes lisas	vvRr verdes lisas
vr	VvRr amarelas lisas	Vvrr amarelas rugosas	vvRr verdes lisas	vvrr verdes rugosas

Com base nesse experimento e nas conclusões precisas obtidas pelo pesquisador, é correto afirmar:

- Esse experimento utilizou duas características, simultaneamente, em um exemplo de interação gênica quantitativa.
- Esse resultado expressa o cruzamento entre indivíduos puros presentes na primeira geração filial (F1).
- Os resultados obtidos divergem dos resultados esperados segundo a 1ª lei de Mendel ou Lei da Pureza dos Gametas.
- Os gametas Vr e vR são considerados parentais e encontram-se presentes em todas as gerações estudadas.
- O resultado da F2 expressa a presença de quatro fenótipos diferentes e uma frequência de 0,125 de genótipos também encontrados na geração parental.

06. (FAMERP 2018) 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) × ervilha rugosa e verde (P2)
F1	100% ervilha lisa e amarela
F1 × P2	ervilha lisa e amarela × 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 F2 permitiram concluir que os genes que determinam a forma e os genes que determinam a cor das ervilhas

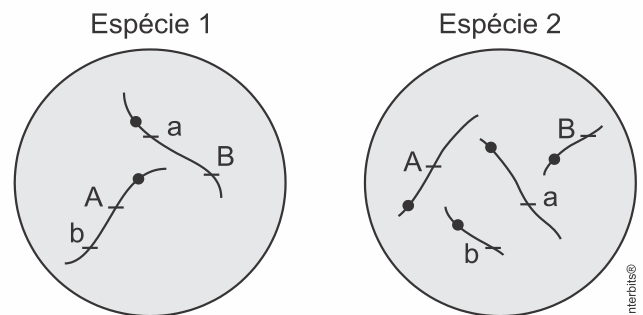
- estão no mesmo par de cromossomos homólogos.
- se combinaram de tal modo que revelaram um desacordo com a 2ª Lei de Mendel.
- se combinaram de diferentes formas por causa da permutação.
- distam 25 centimorgans por estarem no mesmo par de cromossomos homólogos.
- estão em diferentes pares de cromossomos homólogos.

07. (MACKENZIE 2018) Em cães labradores, a cor da pelagem é determinada por dois pares de alelos de segregação independente. O gene dominante B condiciona pelagem preta, enquanto que seu alelo recessivo, b, condiciona pelagem marrom. Localizados em outro par de cromossomos, o gene E permite a produção de pigmentos, enquanto que seu alelo e (quando em homocigose) tem efeito epistático sobre B e b, não permitindo a produção correta de pigmentos, o que determina a cor “dourada” da pelagem.

Um macho de cor marrom e uma fêmea de cor dourada, ao serem cruzados por um tratador, produziram ao longo de suas vidas um total de 32 filhotes, sendo alguns pretos, outros marrons e outros, ainda, dourados. Dentre os 32 filhotes gerados a partir do casal de labradores, o número esperado de machos de coloração preta é

- 4.
- 5.
- 8.
- 16.
- 20.

08. (UNESP 2018) 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 da espécie 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.

09. (UFPR 2018) Em uma espécie de mamíferos, a cor da pelagem é influenciada por dois genes não ligados. Animais AA ou Aa são marrons ou pretos, dependendo do genótipo do segundo gene. Animais com genótipo aa são albinos, pois toda a produção de pigmentos está bloqueada, independentemente do genótipo do segundo gene. No segundo gene, o alelo B (preto) é dominante com relação ao alelo b (marrom). Um cruzamento entre animais AaBb irá gerar a seguinte proporção de prole quanto à cor da pelagem:

- 9 pretos – 3 marrons – 4 albinos.
- 9 pretos – 4 marrons – 3 albinos.
- 3 pretos – 1 albino.
- 1 preto – 2 marrons – 1 albino.
- 3 pretos – 1 marrom.

10. (ACAFE 2017) O termo genética foi aplicado pela primeira vez pelo biólogo inglês William Bateson (1861-1926) para definir o ramo das ciências biológicas que estuda e procura explicar os fenômenos relacionados à hereditariedade.

Assim, a alternativa correta é:

- A penetrância é a expressão percentual com que um gene se manifesta. Sabendo-se que a penetrância do gene para o nanismo acondroplásico é de 80%, pode-se dizer que a probabilidade de um homem heterozigoto, casado com uma mulher normal, ter um filho com este tipo de nanismo é de 80%.
- Epistasia é um tipo de interação gênica em que um gene de determinado locus inibe a manifestação de genes de outro locus. Denomina-se hipostático o gene inibidor e epistático, o gene inibido.
- A capacidade que tem um único par de alelos de produzir diversos efeitos fenotípicos, simultaneamente, no mesmo indivíduo, chama-se pleiotropia.
- Na herança quantitativa, os indivíduos diferem de forma descontínua, apresentando como componentes da variação o genótipo e o ambiente. Dessa forma, toda a variação existente pode ser representada graficamente através de uma curva de Gauss.

11. (UDESC 2016) Em uma espécie de inseto, o tamanho e a formação das asas são determinados geneticamente. O gene que "determina o tamanho das asas" (longas, curtas ou intermediárias) possui dois alelos sem relação de dominância entre si. O gene que determina o desenvolvimento das asas também possui dois alelos; o dominante determina o aparecimento das asas, o recessivo a ausência destas. Vários casais de insetos, duplo heterozigoto, são cruzados e obtêm-se um total de 2048 descendentes.

Assinale a alternativa que indica, deste total, o número esperado de insetos com asas intermediárias.

















- 128 insetos
- 384 insetos
- 768 insetos
- 512 insetos
- 1024 insetos

12. (UFRGS 2016) No milho, grãos de coloração púrpura são dominantes em relação a amarelos, e grãos cheios são dominantes em relação a murchos. Do cruzamento entre duas plantas, foi obtida uma prole com as seguintes proporções: 25% de grãos púrpura e cheios; 25% de grãos amarelos e cheios; 25% de grãos púrpura e murchos; 25% de grãos amarelos e murchos.

Sabendo que uma das plantas parentais era totalmente homozigota, assinale a alternativa correta.

- Os dois genes citados não estão segregando de forma independente.
- A planta homozigota era dominante para as duas características.
- Uma das plantas parentais era heterozigota para as duas características.
- A prole seria mantida na proporção 1:1:1:1, se as duas plantas parentais fossem duplo heterozigotas.
- Os resultados obtidos são fruto de recombinação genética.

13. (UECE 2016) Como dinâmica de aula durante a exposição do assunto genética mendeliana, a professora construiu o seguinte modelo para demonstrar a 2ª 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 o R é o gene dominante que expressa uma característica semente do tipo lisa; o r o gene recessivo que expressa uma característica semente do tipo rugosa; V o gene dominante que expressa a característica cor verde da semente e v o gene recessivo que expressa a característica cor amarela, então é correto afirmar que

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

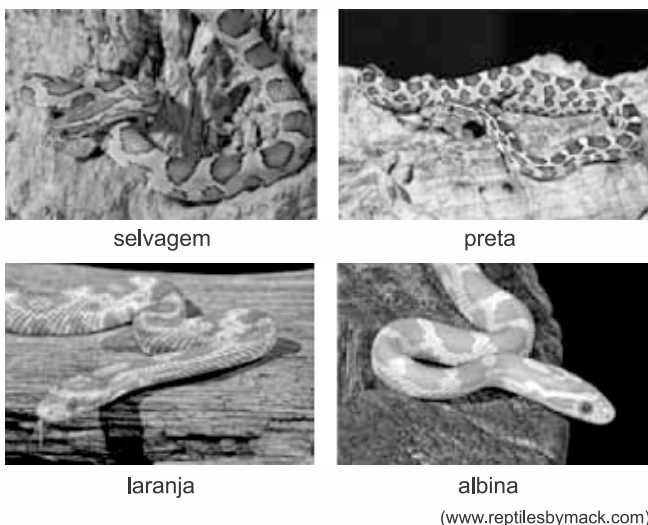
14. (UECE 2016) A probabilidade de que o cruzamento $AabbCc \times aaBBCc$ origine um descendente de genótipo $aaBbCC$ é dada por

- a) $P = 0,125$.
- b) $P = 0,5$.
- c) $P = 1$.
- d) $P = 0,333...$

15. (UDESC 2016) A altura de uma determinada planta é determinada por dois genes de efeito aditivo, A e B e seus respectivos alelos a e b. Os alelos A e B acrescentam 0,30 m às plantas e os alelos a e b 0,15 m. Ao se cruzarem plantas AABB com plantas AaBb pode-se esperar a frequência entre os descendentes de:

- a) 25% com 2,40 m; 50% com 2,10 m e 25% com 1,90 m.
- b) 75% com 2,10 m e 25% com 1,40 m.
- c) 50% com 1,20 m e 50% com 0,60 m.
- d) 25% com 1,20 m e 75% com 0,60 m.
- e) 25% com 1,20 m; 50% com 1,05 m e 25% com 0,90 m.

16. (UNESP 2016) 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 preto e laranja. Cobras pretas produzem apenas pigmento preto. Cobras laranja produzem apenas pigmento laranja. Existem ainda cobras albinas, que não produzem os dois pigmentos. As figuras apresentam os quatro fenótipos possíveis de coloração da pele.



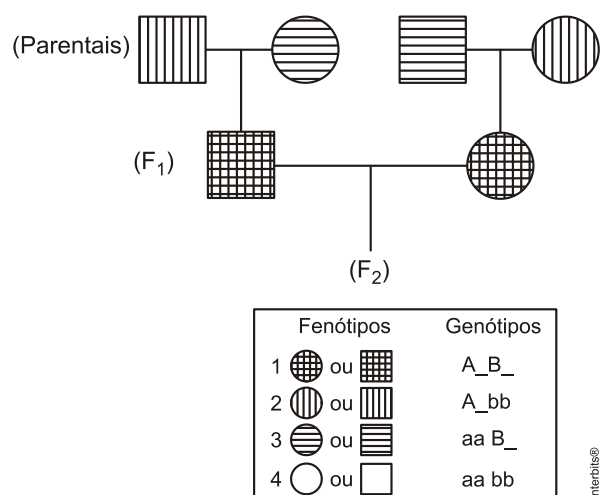
Assinale a alternativa na qual os genótipos representam, respectivamente, uma cobra selvagem e uma cobra albina.

- a) AaBb e aabb.
- b) aaBb e aabb.
- c) AaBb e AAbb.
- d) aaBB e Aabb.
- e) Aabb e aaBb.

17. (UPF 2016) Suponha que a diferença entre uma planta de 100 cm de estatura e uma de 160 cm é devida a dois pares de genes de fatores e efeitos iguais e aditivos. A planta de 160 cm é duplo homocigota dominante e a de 100 cm é duplo homocigota recessiva. Cruzando-se uma planta duplo heterocigota com uma duplo homocigota recessiva, pode-se prever que, entre os descendentes:

- a) 25% terão em média 130 cm, 50% terão em média 115 cm e 25% terão em média 100 cm de estatura.
- b) 100% das plantas terão em média 115 cm de estatura.
- c) 50% terão em média 140 cm e 50% terão em média 100 cm de estatura.
- d) 75% terão em média 130 cm e 25% terão em média 145 cm de estatura.
- e) 25% terão em média 115 cm, 25% terão em média 130 cm, 25% terão em média 145 cm e 25% terão em média 160 cm de estatura.

18. (FGV 2015) Analise o heredograma que ilustra a transmissão de duas características genéticas, cada uma condicionada por um par de alelos autossômicos com dominância simples.



Admitindo que todos os indivíduos da geração parental são duplo homocigotos, e que foram gerados em (F₂) 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.
- b) 9:3:3:1.
- c) 1:1:1:1.
- d) 3:3:1:1.
- e) 1:3:3:1.

19. (UFU 2015) Em uma determinada raça de cão há três possibilidades de cores de pelo: preta, amarela e marrom. O alelo M é responsável pela cor preta, e seu alelo recessivo, pela cor marrom. O gene E, não alélico de M, condiciona o depósito de pigmento preto ou marrom no pelo. Já o alelo recessivo (e) impede esse depósito, originando o pelo amarelo.

No cruzamento entre dois cães dessa raça, um de pelo preto heterozigoto para os dois pares de genes e outro marrom descendente de uma mãe amarela, espera-se na descendência uma proporção fenotípica de:

- a) 6 pretos: 2 amarelos.
- b) 3 pretos: 3 marrons: 2 amarelos.
- c) 3 pretos: 5 marrons.
- d) 4 pretos: 3 marrons: 1 amarelo.

20. (UFG 2014) Leia as informações a seguir.

Em uma dada espécie de abóbora, a interação de 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 homozigota com uma abóbora alongada resulta, na linhagem F₁, em uma proporção fenotípica de:

- a) 6/16 alongada.
- b) 8/16 esférica.
- c) 9/16 discoide.
- d) 16/16 alongada.
- e) 16/16 esférica.

GABARITOS E PADRÕES DE RESPOSTAS

EXERCÍCIOS DE APRENDIZAGEM

- 01.
- 02.
- 03.
- 04.
- 05.

EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO

01. [E]

[A] Incorreta. Os alelos dominantes no indivíduo heterozigoto estão em um cromossomo e os alelos recessivos em outro, portanto, em posição cis.

[B] Incorreta. Os pares Aa/Bb e Cc/Dd não possuem segregação independente, pois estão localizados no mesmo par de cromossomos homólogos, sendo que o princípio da segregação independente é válido para duas ou mais características, com genes localizados em diferentes pares de cromossomos homólogos, que se separam com total independência uns dos outros no processo de meiose e se combinam ao acaso.

[C] Incorreta. Aa e Cc não podem fazer crossing-over, pois estão em cromossomos não homólogos.

[D] Incorreta. Se não houver crossing-over, podem ser formados quatro tipos de gametas, ABcd, ABCD, abcd e abCD.

[E] Correta. Todos os genes representados obedecem à Primeira Lei de Mendel, que tem como princípio que cada característica é determinada por dois alelos, que se segregam na meiose, o que faz cada gameta portar apenas um alelo de cada gene, como é o caso dos genes representados, pois estão em cromossomos homólogos e na formação dos gametas se separam, ocorrendo em dose simples.

02. [C]

O cruzamento de plantas com fruto esférico e cor de abóbora com plantas com fruto discoide e cor branco-amarelada resultou F1 apenas com fenótipo discoide e cor de abóbora, mostrando que as características discoide e cor de abóbora são dominantes em relação às características esférica e cor branco-amarelada, de acordo com a tabela abaixo, aaBB (esférica e cor de abóbora) × AAbb (discoide e branco-amarelada):

	aB	aB	aB	aB
Ab	AaBb	AaBb	AaBb	AaBb
Ab	AaBb	AaBb	AaBb	AaBb
Ab	AaBb	AaBb	AaBb	AaBb
Ab	AaBb	AaBb	AaBb	AaBb

Portanto, F1 só originou discoide e cor de abóbora (AaBb) que, ao serem cruzadas, originaram uma proporção de 9 : 3 : 3 : 1 (126 : 42 : 40 : 16), de acordo com a Segunda Lei de Mendel, sobre a segregação independente dos alelos:

	AB	Ab	aB	ab
AB	AABB	AABb	AaBB	AaBb
Ab	AABb	AAbb	AaBb	Aabb
aB	AaBB	AaBb	aaBB	aaBb
ab	AaBb	Aabb	aaBb	aabb

AABB, AABb, AaBB, AaBb, AABb, AaBb, AaBB, AaBb, AaBb = 9/16 de discoide e cor de abóbora

AAbb, Aabb, Aabb = 3/16 de discoide e cor branco-amarelada

aaBB, aaBb, aaBb = 3/16 de esférica e cor de abóbora

aabb = 1/16 de esférica e cor branco-amarelada

03. [D]

Camundongos duplos heterozigotos AaBb apresentam como possíveis gametas AB, Ab, aB e ab e, cruzando-os, obtêm-se:

	AB	Ab	aB	ab
AB	AABB	AABb	AaBB	AaBb
Ab	AABb	AAbb	AaBb	Aabb
aB	AaBB	AaBb	aaBB	aaBb
ab	AaBb	Aabb	aaBb	aabb

Para gerar pelos brancos, o genótipo precisa conter duplo-recessivo aa, sendo $\frac{4}{16} = \frac{1}{4} = 25\%$. Assim, dos 80 filhotes, 20 terão pelos brancos, pois

$$80 \text{ ——— } 100\%$$

$$x \text{ ——— } 25\%$$

$$x = \frac{80 \times 25}{100} = 20$$

04. [B]

Alelos: p (pentadactilia) e P (Polidactilia); s (ausência de sardas) e S (presença de sardas).

Pais: PpSs × PpSs

Filhos: $\frac{9}{16} P_S_;$ $\frac{3}{16} P_ss;$ $\frac{3}{16} ppS_;$ e $\frac{1}{16} ppss$

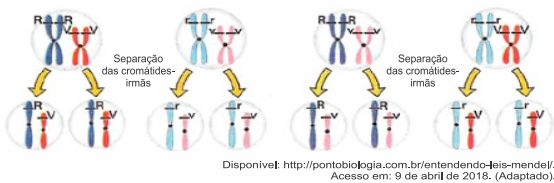
$$P(\text{♀ } P_S_) = \frac{1}{2} \times \frac{9}{16} = \frac{9}{32}$$

05. [E]

A geração F2 apresenta quatro fenótipos distintos e 12,5% (ou 2/16) de genótipos também encontrados na geração parental (VVRR e vvrr).

06. [E]

Os resultados obtidos em F2, do cruzamento entre F1 (duplo heterozigoto – RrVv) e P2 (duplo recessivo – rrvv), mostram que os genes da forma e da cor das ervilhas estão em diferentes pares de cromossomos homólogos, de acordo com lei da segregação independente, mostrada na imagem abaixo:



07. [A]

Os genótipos seriam: preto E_B_, marrom E_bb e dourado ee___. Para que haja descendentes pretos, marrons e dourados, o macho deve ser Eebb e a fêmea eeBb. Assim, o cruzamento teria 4 descendentes machos pretos: (machos) 1/2 × (pretos) 1/4 = 1/8 de 32 = 4.

Gametas: Eb eb (macho) × eB eb (fêmea)

	♂	Eb	eb
♀	eB	EeBb	eeBb
	eb	Eebb	eebb

- EeBb – preto – 1/4 (25%)
- Eebb – marrom – 1/4 (25%)
- eeBb – dourado – 1/4 (25%)
- eebb – dourado – 1/4 (25%)

08. [E]

A primeira lei de Mendel (lei da segregação) será observada tanto na espécie 1 quanto na espécie 2, porque, durante a meiose, os alelos A/a e B/b se separam. A segunda lei de Mendel (lei da segregação independente) se constata apenas na espécie 2, pois os genes A e B situam-se em cromossomos diferentes e se combinam de todas as formas possíveis nos produtos meióticos.

09. [A]

fenótipos	genótipos
preto	A_B_
marrom	A_bb
branco	aa__

Pais: AaBb × AaBb

Filhos: 9 A_B_ (pretos): 3 A_bb (marrons): 4 aa__ (3 aaB_ + 1 aabb brancos)

10. [C]

[A] Errada. A penetrância é a porcentagem de indivíduos que expressam o fenótipo de determinado alelo (dominante ou recessivo). Assim, a probabilidade de um casal, um homem Aa casado com uma mulher aa, ter um filho com nanismo é de 40%, pois a probabilidade de o filho ter o gene é de 0,5 (50% – tabela) × 0,8 (80%) da penetrância do gene = 0,4 (40%).

Lembrando que: o gene para nanismo é dominante, porém só se manifesta em heterozigose, pois em homozigose ocorre a morte do indivíduo.

H/M	A	a
a	Aa	aa
a	Aa	aa

[B] Errada. Na epistasia, um gene de um locus altera a expressão fenotípica (epistático) de um gene de um outro locus (hipostático).

[C] Correta. A pleiotropia é quando o gene (um par de alelos) possui efeitos fenotípicos múltiplos, ou seja, expressa características simultâneas.

[D] Errada. Na herança quantitativa (poligênica), há um efeito aditivo de dois ou mais genes sobre um fenótipo e as variações são lentas e contínuas.

11. [C]

Alelos:
L (asas longas) e C (asas curtas)
a (ausência de asas) e A (presença de asas)

Pais: AaLc × AaLc

$$P(\text{descendentes com asas intermediárias}) = P(A_Lc) = \frac{3}{4} \times \frac{1}{2} = \frac{3}{8} \times 2.048 = 768 \text{ insetos.}$$

12. [C]

Alelos:
a (amarelo) e A (púrpura)
m (murcho) e M (cheio)

Pais: AaMm × aamm

- Filhos:**
- 25% AaMm (grãos púrpuras e cheios)
 - 25% Aamm (grãos púrpuras e murchos)
 - 25% aaMm (grãos amarelos e cheios)
 - 25% aamm (grãos amarelos e murchos)

13. [B]

Em um cruzamento do tipo RRVv × RRVV, os descendentes serão todos portadores de sementes lisas e verdes. No cruzamento RrVv × RrVv, há 1/4 de chance de ocorrer a formação de sementes rugosas (rr). A leitura da proporção para o cruzamento exemplificado no quadro acima é 9 : 3 : 3 : 1.

14. [A]

Pais: AabbCc × aaBBCc

Cruzamentos:

Aa × aa = Aa; aa - P (aa) = 0,5

bb × BB = Bb - P (Bb) = 1,0

Cc × Cc = CC; Cc; Cc e cc - P (CC) = 0,25

P (aaBbCC) = 0,5 × 1,0 × 0,25 = 0,125

15. [E]

Os gametas de AABB serão apenas AB e os gametas de AaBb serão AB, Ab, aB e ab. Assim, as probabilidades de descendentes serão AABB, AABb, AaBB e AaBb.

Portanto, as alturas serão:

- AABB(0,30 m + 0,30 m + 0,30 m + 0,30 m) = 25% com 1,20 m;

- AABb(0,30 m + 0,30 m + 0,30 m + 0,15 m) e

AaBB(0,30 m + 0,15 m + 0,30 m + 0,30 m) = 50% com 1,05 m;

- AaBb(0,30 m + 0,15 m + 0,30 m + 0,15 m) = 25% com 0,90 m.

16. [A]

Tratando-se de um caso de dois genes com segregação independente e interação, as cobras selvagens apresentam, pelo menos, um gene dominante de cada par (A_B_), enquanto as albinas não produzem pigmento e são genotipicamente aabb.

17. [A]

Valor do gene aditivo = diferença entre os extremos/nº total de genes = (160 - 100)/4 = 60/4 = 15 cm

Pais: 25% AaBb (100 - 30 cm) : aabb (100 cm).

Filhos:

25% AaBb (130 cm) : 25% Aabb (115 cm) : 25% aaBb (115 cm) : 25% aabb (100 cm).

18. [B]

Parentais: AAbb × aaBB e aaBB × AAbb

F₁ : AaBb × AaBb

F₂ : $\frac{9}{16}$ A_B_ : $\frac{3}{16}$ A_bb : $\frac{3}{16}$ aaB_ : $\frac{1}{16}$ aabb

19. [B]

Pais: MmEe × mmEe

filhos: 3 pretos (1MmEE e 2 MmEe)

3 marrons (1mmEE e 2 mmEe)

2 amarelos (1Mmee e 1mmee)

20. [E]

fenótipos	genótipos
discoide	A_B_
esférica	A_bb ou aaB_
alongada	aabb

pais: AAbb x aabb
gametas Ab ab
Filhos 100% Aabb (esféricas)