

# Biologia

PROFESSOR FLÁVIO LANDIM



## SISTEMA CIRCULATÓRIO PARTE 1

Os seres vivos são dotados de características como o metabolismo e a homeostase que requerem uma constante troca de substâncias com o meio ambiente. Através do metabolismo, nutrientes e oxigênio são consumidos para a produção de energia e vários subprodutos, muitas vezes tóxicos, como o gás carbônico, são liberados nesses processos. Assim, as trocas que ocorrem em organismos vivos têm como objetivos suprir os mesmos de mais nutrientes e oxigênio, a fim de manter a atividade metabólica, bem como eliminar substâncias tóxicas provenientes do metabolismo, a fim de manter a constância do meio interno, o que corresponde exatamente à **homeostase**. Como os nutrientes e o oxigênio são obtidos no meio ambiente e captados a partir das superfícies corporais (ou celulares), bem como a eliminação de subprodutos tóxicos também ocorre nessas mesmas superfícies, deve haver um constante fluxo de nutrientes, gases respiratórios e excretas das partes do organismo responsáveis pelas funções metabólicas até essas superfícies, para permitir a ocorrência de tais trocas.

A aquisição de nutrientes e gases respiratórios por organismos unicelulares dá-se, normalmente, simplesmente por difusão a partir de qualquer ponto da superfície celular. Como as dimensões desses organismos são reduzidas, não há distâncias grandes da superfície da célula para qualquer ponto em seu interior. Desta maneira, o transporte interno de substâncias se dá também por difusão.

Em **organismos pluricelulares simples**, como **poríferos**, **cnidários** e **platelmintos**, as trocas de substâncias ocorrem diretamente entre o meio ambiente e qualquer ponto da superfície corporal, também por simples difusão. Isso é possível porque tais organismos possuem dimensões bastante reduzidas, além do que todas as células do corpo estão relativamente próximas da superfície corporal externa, onde ocorrem as trocas gasosas, e da superfície corporal interna (átrio, cavidade gastrovascular ou cavidade digestiva),

### ASSUNTOS DA AULA.

Clique no assunto desejado e seja direcionado para o tema.

- [Sangue](#)
- [Evolução dos sistemas circulatórios](#)
- [Tipos de circulação fechada](#)
- [Circulação em répteis crocodylianos](#)

onde ocorre a entrada de nutrientes. O transporte interno de substâncias também é favorecido pelas pequenas dimensões, ocorrendo por difusão de célula a célula.

Em organismos pluricelulares mais complexos, como os vertebrados, por exemplo, a coisa muda de figura. Sendo dotados de trilhões de células e tendo superfícies teciduais especializadas para a nutrição, a respiração e a excreção, a entrada de substâncias nutrientes e gases por difusão ocorre apenas em determinados pontos do organismo, devendo a partir destes pontos serem distribuídos para o resto do corpo. Esta distribuição de substâncias no organismo não pode ocorrer mais por simples difusão, uma vez que, em organismo deste porte, há distâncias consideráveis de um grupo de células para outro. Para se ter uma ideia, no organismo humano, se o transporte de oxigênio a partir do pulmão para o pé se desse por difusão célula a célula, ele demoraria alguns anos para percorrer toda a distância pulmão-pé. Torna-se claro, então, que os organismos pluricelulares devem possuir mecanismos mais eficientes de transporte de substâncias em seu interior, aparecendo o sistema circulatório para desempenhar este papel com grande eficiência.

As **funções** gerais do sistema circulatório em organismos animais superiores são:

- **Transporte do oxigênio**, desde os órgãos respiratórios (pulmões, brânquias, tegumentos etc.) até os tecidos do corpo e **transporte do gás carbônico** dos tecidos aos órgãos respiratórios para que sejam eliminados.
- **Distribuição dos nutrientes** absorvidos ao nível das vias digestivas a todas as células do corpo.
- **Transporte dos produtos finais do metabolismo** até órgãos especializados de excreção (rins e outros).
- **Oferecimento de água e sais minerais ou retirada de tais substâncias dos tecidos e das células, mantendo o equilíbrio hidrossalino**, do qual dependem complexos mecanismos, como a regulação iônica e eletrolítica, de importância fundamental para a manutenção da vida.
- **Distribuição de hormônios** que coordenam a atividade de tecidos, órgãos e outras glândulas à distância, assim contribuindo para uma atividade integradora de todo o organismo.
- **Defesa**, conduzindo células (leucócitos) e proteínas (anticorpos) especializados no combate aos agentes externos que invadem o organismo.
- **Manutenção da temperatura corpórea** dentro dos limites considerados “ótimos” para a atividade das enzimas intercelulares, nos animais endotérmicos (aves e mamíferos).

O **sistema circulatório dos vertebrados** compõe-se de **três** partes fundamentais: um **líquido circulante** para transporte e distribuição das substâncias relacionadas ao metabolismo, denominado **sangue**; um conjunto de **tubos** por onde circulam o sangue e as substâncias transportadas, denominados **vasos sanguíneos**; e uma **bomba muscular** que impulsiona o sangue ao longo dos vasos sanguíneos, denominada **coração**.

Em alguma das funções anteriormente descritas, além do **sistema circulatório sanguíneo**, existe um outro sistema contribuindo para a realização das mesmas: o **sistema circulatório linfático**, que participa intensamente na atividade imunológica, transportando células de defesa, no transporte de nutrientes, particularmente os lipídios e na manutenção do equilíbrio osmótico dos tecidos corporais, como será visto a seguir.

**Observação:** O termo **circulação** é utilizado para as **circulações sanguínea e linfática**, sendo uma característica exclusivamente **animal**. O termo **transporte** é aplicado para os fenômenos relacionados à **seiva, bruta e elaborada**, sendo bem mais simples e correspondendo a uma característica **vegetal**.

## SANGUE

O líquido responsável pelo transporte de nutrientes e outras substâncias nos sistemas circulatórios é denominado **sangue**. O sangue constitui-se de duas partes principais: o **plasma** e os **elementos figurados**.

O **plasma** corresponde à parte líquida e não viva do sangue, sendo formado principalmente por **água, sais e proteínas**, como a **albumina**, com papel de conferir equilíbrio osmótico, as **imunoglobulinas (ou anticorpos)**, com papel de defesa, e o **fibrinogênio**, relacionado à coagulação.

Os **elementos figurados** correspondem à parte corpuscular e viva do sangue, sendo formada por **hemácias (ou eritrócitos ou glóbulos vermelhos)**, responsáveis pelo transporte de oxigênio no sangue, **leucócitos (ou glóbulos brancos)**, principais responsáveis pela defesa corporal, e **plaquetas (ou trombócitos, que na verdade são fragmentos de células medulares denominadas megacariócitos)**, responsáveis pelo controle do processo de coagulação sanguínea.

O sangue é um líquido bastante denso, e esta densidade é devida ao alto teor de partículas corpusculares (elementos figurados), cerca de 45%, contra 55% de plasma. Esta proporção de elementos figurados e plasma do sangue normal é denominado **hematócrito**.

As principais funções do sangue dizem respeito ao **transporte de nutrientes e gases**

**respiratórios** e à **defesa** proporcionada pelas células e proteínas sanguíneas de defesa.

Para bem desempenhar as funções que lhe são atribuídas, particularmente no transporte de gases respiratórios, o sangue deve possuir substâncias que ajudem a reter tais gases, sendo estas substâncias denominadas pigmentos respiratórios. Para se ter uma noção, 100 mL de plasma puro, não dotado de pigmentos respiratórios, consegue carregar cerca de 0,3 mL nele dissolvido. No entanto, se considerarmos a presença de pigmentos respiratórios, os mesmos 100 mL de plasma conseguem carregar 66 vezes mais oxigênio, ou seja, 20 mL. Em outras palavras, a presença dos **pigmentos respiratórios** aumenta consideravelmente a capacidade do sangue de transporte de gases respiratórios.

Os pigmentos respiratórios encontram-se normalmente no **plasma** dos organismos animais e apresentam-se como **moléculas proteicas associadas a metais**, das quais a mais comum é a **hemoglobina**, presente nos vertebrados (inclusive no homem). A hemoglobina está associada a um grupo químico denominado radical heme ligado à proteína. Cada molécula de hemoglobina possui quatro radicais heme (cada qual contendo um átomo de ferro), e cada um pode transportar um átomo de oxigênio (bem, pela matemática tradicional, quatro grupos heme, cada qual transportando uma molécula de O<sub>2</sub> equivale a quatro moléculas de oxigênio transportadas por cada molécula de hemoglobina...).

Como outros exemplos de pigmentos respiratórios, observe o quadro abaixo:

Pigmento respiratório	Cor	Metal	Localização	Animal
Hemoglobina	Vermelha	Ferro	Hemácias	Vertebrados
Hemoglobina	Vermelha	Ferro	Plasma	Alguns anelídeos
Clorocruniana	Verde	Ferro	Plasma	Alguns anelídeos
Hemocianina	Azul	Cobre	Plasma	Crustáceos e moluscos
Hemeritrina	Vermelha	Ferro	Plasma	Alguns vermes marinhos

Tome nota:

Alguns animais não possuem pigmentos respiratórios em seu sangue, como os **insetos**. O sangue dos insetos é denominado **hemolinfa**, e tem cor **branca** pela **ausência de pigmentos respiratórios**. Isso significa que este sangue carrega uma quantidade bastante reduzida de oxigênio (quase nenhum), correspondente apenas àquele que se encontra dissolvido no líquido da hemolinfa. Entretanto, não há a necessidade de o sangue de insetos carregar gases respiratórios, uma vez que, através de sua respiração traqueal, o oxigênio é carregado diretamente para a intimidade dos tecidos, sem passar pelo sangue. Assim, o sistema circulatório de insetos não está vinculado ao seu sistema respiratório.

## EVOLUÇÃO DOS SISTEMAS CIRCULATÓRIOS

Em organismos inferiores, as células absorvem alimentos e oxigênio por difusão direta, como já discutido. Pelo mesmo processo, também eliminam os produtos finais do metabolismo, inclusive o gás carbônico. Assim, a nutrição, respiração e excreção são fenômenos realizados dentro dos limites de uma notável simplicidade. Os protozoários, como seus vacúolos pulsáteis, bem como poríferos, cnidários e platelmintos, colocam-se muito bem no comentário que foi feito logo acima. Não há sistema circulatório, apenas a difusão de substâncias de célula a célula e pelo meio interior das células.

Em animais cujos corpos são formados por mais de duas camadas de células, e que, portanto, possuem agrupamentos celulares situados mais profundamente, as distâncias mais consideráveis dos pontos de absorção de nutrientes e oxigênio, ou dos pontos de eliminação das excretas e do gás carbônico, a difusão

direta começou a apresentar deficiências funcionais. A aquisição de um sistema de transporte eficiente, que pudesse conduzir as substâncias pelo corpo, distribuindo algumas e retirando outras, tornou-se uma inegável conquista, contribuindo para o aperfeiçoamento das espécies.

Dessa maneira, surgiram os **sistemas circulatórios**. Esses sistemas foram gradualmente melhorados e aprimorados ao longo de milhões de anos de evolução. O primeiro sistema circulatório apareceu em animais bastante simples ainda, sendo denominado **sistema circulatório aberto ou lacunar**. Este tipo de circulação encontra-se presente em **moluscos e artrópodes**. Em **anelídeos**, em **moluscos superiores**, como os **cefalópodes** e em **vertebrados**, uma forma mais eficiente de sistema circulatório aparece: o **sistema circulatório fechado**.

**Observação:** A partir de **nematelmintos**, com o **pseudoceloma**, e de **moluscos**, com o **celoma**, começou a aparecer uma cavidade correspondente a um **meio interno líquido** nos organismos animais. Este meio, presente normalmente na fase embrionária, traz grandes vantagens, como por exemplo a facilidade de distribuição de substâncias: a difusão de substâncias em um meio líquido é bastante facilitada em relação àquela que ocorre da célula a célula, permitindo a distribuição mais eficiente e rápida de nutrientes e gases respiratórios. Na maioria destes **organismos celomados**, a cavidade desaparece ou se reduz enormemente na idade adulta, sendo, pois, **estritamente embrionária**. No organismo adulto, as funções do líquido celomático são então desempenhadas pelos sistemas circulatórios. Entretanto, nos **organismos pseudocelomados** (nematelmintos apenas), **não há sistema circulatório no adulto, permanecendo então a cavidade pseudocelomática**. Neste caso, a referida cavidade desempenha um importante papel de distribuição de nutrientes no nematelminto adulto.

## SISTEMA CIRCULATORIO ABERTO OU LACUNAR

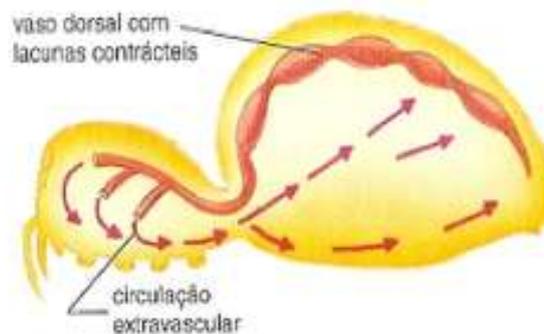
Na maioria dos **organismos invertebrados**, a circulação ocorre de maneira **aberta**. Isto significa que o sangue percorre uma parte de seu circuito no organismo dentro de vasos sanguíneos, e uma parte fora dele passando diretamente na intimidade dos tecidos. As trocas em nível tecidual não são feitas nos capilares, e sim diretamente pela passagem de substâncias para as células a partir do líquido circulante.

Na grande maioria das vezes, a circulação aberta consiste de um **grande vaso dorsal** contendo uma série de estruturas contráteis ao longo do mesmo, sequenciadas (em fila). **Tais estruturas, corações bastante rudimentares** (que podem variar bastante em número, de cinco a dez ou mais), são os responsáveis pelo bombeamento de sangue. É bom notar que não há um coração propriamente dito, uma vez que essas estruturas contráteis são muito simples e pouco eficientes no bombeamento.

O sangue percorre o vaso dorsal até a parte anterior do corpo, onde abandona o vaso e cai em espaços entre os tecidos denominados **lacunas ou hemocelos**. Nas lacunas, e portanto fora de vasos sanguíneos, o sangue passa por entre as células do organismo, fornecendo-lhes diretamente oxigênio e nutrientes. Devido à pressão do bombeamento inicial, o sangue acaba retornando ao grande vaso dorsal pela porção posterior do corpo, abandonando as lacunas e voltando a circular no interior de vasos sanguíneos.

A circulação aberta (que recebe este nome porque o sangue circula tanto no interior de vasos sanguíneos como fora deles) ou lacunar (devido às lacunas) ocorre de maneira muito lenta e precária. A maior dificuldade é o recolhimento de todo o sangue que saiu dos vasos para misturar-se aos tecidos. Assim, a cada ciclo de bombeamento do grande vaso dorsal, grande quantidade de sangue não retorna ao mesmo, ficando acumulado nos tecidos, só retornando aos vasos depois de algum tempo. Este tempo exagerado que o sangue permanece fora do vaso acaba sendo muito prejudicial, uma vez que neste período ele não está passando pelas estruturas respiratórias para ser oxigenado.

Em artrópodes, inclusive insetos, a circulação é aberta. Ou seja, neste tipo de circulação, o líquido circulante pode ser o sangue propriamente dito ou a hemolinfa.



Circulação aberta de uma aranha (esquemático). O sangue circula ora dentro de vasos, ora fora deles.

## SISTEMA CIRCULATORIO FECHADO

Devido à ineficiência do sistema circulatório aberto, a natureza criou o **sistema circulatório fechado**, muito mais eficiente. Nele, **o sangue só circula no interior dos vasos**, não havendo aquela dificuldade de remover o sangue dos tecidos que ocorre na circulação lacunar. A circulação fechada ocorre em alguns invertebrados como **anelídeos** (minhocas e sanguessugas), **moluscos cefalópodes** (lulas e polvos) e **vertebrados** (como você, caro leitor).

## TIPOS DE CIRCULAÇÃO FECHADA

Na circulação fechada, podem-se distinguir duas possíveis classificações: a classificação em **circulação simples e circulação dupla** e a classificação em **circulação incompleta e circulação completa**.

### CIRCULAÇÃO EM PEIXES

O coração dos peixes é o mais simples dentre os vertebrados, possuindo apenas **duas cavidades (câmaras), sendo bicavitário**. A primeira câmara é denominada **átrio** (antigamente denominada aurícula: este termo não deve mais ser usado), e recebe o sangue no coração, passando-o à segunda câmara, que é denominada **ventrículo** e que impulsiona o sangue para o resto do corpo.

Além das duas câmaras, o átrio dos peixes é precedido por uma dilatação, denominada **seio venoso**, relacionada ao controle do ritmo dos batimentos cardíacos. Após passar pelo ventrículo, existe uma outra dilatação, denominada **cone (ou cone arterioso)**, que corresponde a uma região especial e elástica do vaso sanguíneo situada imediatamente após o coração (a aorta). O cone não é contrátil e não participa do mecanismo de impulsão do sangue, apenas controlando a saída de sangue do coração.

Os quatro compartimentos cardíacos (seio, átrio, ventrículo e cone) estão separados entre si por válvulas, dispositivos que im-

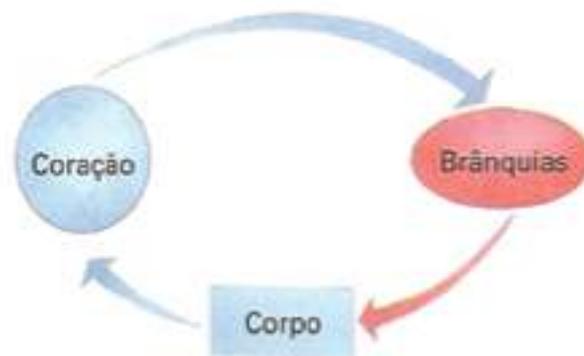
pedem o refluxo de sangue. Com isso, o sangue circula no coração num só sentido.

Do cone, o sangue passa para a artéria aorta ventral, que se dirige às brânquias. Nestas, o sangue é oxigenado e conduzido às demais partes do corpo por outras artérias. Após irrigar os tecidos, o sangue, agora pouco oxigenado e rico em gás carbônico, é conduzido de volta ao coração por veias.

**Nos peixes, portanto, o sangue só passa uma vez pelo coração a cada ciclo de batimentos cardíacos.** Por isso, a circulação é dita **simples**. Nesse tipo de circulação, o sangue oxigenado não retorna ao coração para ser enviado ao corpo. Assim, a pressão sanguínea no sistema circulatório é mais baixa que nos demais animais. Essa pressão baixa é determinante de uma taxa metabólica também muito baixa nos peixes.

**No coração dos peixes só passa sangue venoso, não havendo mistura de sangue arterial com venoso.** Por não existir essa mistura, fala-se que a circulação é **completa**.

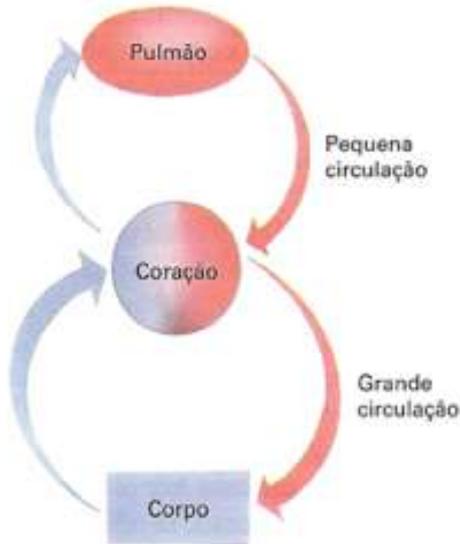
Tome nota:



Circulação simples em peixes.

## PEQUENA CIRCULAÇÃO X GRANDE CIRCULAÇÃO

Em todos os vertebrados terrestres, existe a **dupla circulação**, que é dividida em **pequena** e **grande**. A **pequena circulação** ou pulmonar é a que ocorre do coração para o pulmão e deste para o coração. A **grande circulação** ou **sistêmica** é a que ocorre do coração para o resto do corpo.



Dupla circulação em tetrápodes.

GRANDE CIRCULAÇÃO	<p>Fornece <math>O_2</math> aos tecidos e deles retira <math>CO_2</math></p> <pre>         graph TD             C[coração] -- "sangue + O₂" --&gt; T[tecidos]             T -- "sangue + CO₂" --&gt; C             </pre>
PEQUENA CIRCULAÇÃO	<p>Retira <math>CO_2</math> do sangue e a ele adiciona <math>O_2</math></p> <pre>         graph TD             C[coração] -- "sangue + CO₂" --&gt; P[pulmões]             P -- "sangue + O₂" --&gt; C             </pre>

Distinção funcional entre grande e pequena circulações.

## CIRCULAÇÃO EM ANFÍBIOS

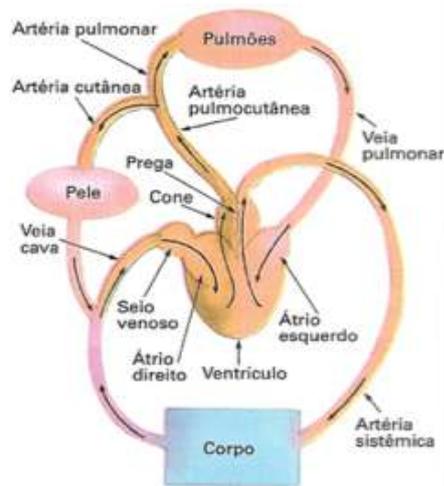
Nos anfíbios, o coração é dotado de **três câmaras**, sendo **tricavitário: dois átrios (um esquerdo e um direito) e um ventrículo**. Associado ao átrio direito, existe um **seio venoso** com a mesma função descrita para os peixes, ou seja, o controle do ritmo dos batimentos cardíacos. Após

o ventrículo, há o **cone arterioso**, também da mesma forma que em peixes.

Vamos analisar a circulação de um anfíbio adulto, que respira **por pulmões e pela pele**. Não analisaremos a circulação dos anfíbios na fase de larva (girino), quando a respiração é feita por brânquias externas.

O átrio direito recebe o sangue venoso e o passa para o ventrículo. O átrio esquerdo recebe o sangue arterial e também o passa para o ventrículo. Por ser único, o ventrículo recebe sangue pobre em oxigênio proveniente dos tecidos corporais (venoso) e o sangue que foi oxigenado nos pulmões (arterial). Apesar de presentes em um mesmo compartimento (no ventrículo), o sangue venoso e o arterial mantêm-se quase que perfeitamente separados, havendo pouca mistura entre eles. Essa separação entre os dois tipos de sangue no ventrículo se deve à presença de trabéculas musculares na parede interna do ventrículo, que dirigem o sangue arterial e venoso por rotas diferentes. Além disso, o ventrículo bombeia o sangue para o cone, onde há uma válvula espiral que contribui para a separação dos tipos de sangue. Essa válvula faz com que o sangue mais rico em oxigênio vá para o corpo, e o sangue pobre em oxigênio vá para os pulmões e pele.

Do cone arterioso partem dois tipos de artérias: a **sistêmica**, que leva o sangue rico em  $O_2$  para ser distribuído pelo corpo do animal, e a **pulmocutânea**, que leva o sangue pobre em  $O_2$  para ser oxigenado nos pulmões e na pele. Essa artéria se divide em pulmonar, levando o sangue para os pulmões, e cutânea, levando o sangue para a pele. O sangue oxigenado nos pulmões retorna ao coração pelas veias pulmonares, penetrando no átrio esquerdo. O sangue oxigenado na pele retorna ao coração por uma outra via: ele é reunido em um vaso que desemboca na veia cava, responsável pela condução de sangue para o átrio direito do coração. Assim, o sangue que chega ao coração, apesar de venoso, tem um certo teor de oxigênio em função do sangue oxigenado na pele.



Esquema da circulação em anfíbios.

Nos anfíbios, o sangue passa duas vezes pelo coração em cada ciclo (como sangue venoso e como sangue arterial). Por isso diz-se que a circulação é **dupla**. Como **no ventrículo existe mistura de sangue arterial com venoso**, embora em quantidades pequenas, diz-se que a circulação é **incompleta**.

O retorno do sangue oxigenado nos pulmões para o coração e deste para o corpo propicia maior pressão do sangue no sistema circulatório, possibilitando taxas metabólicas mais altas.

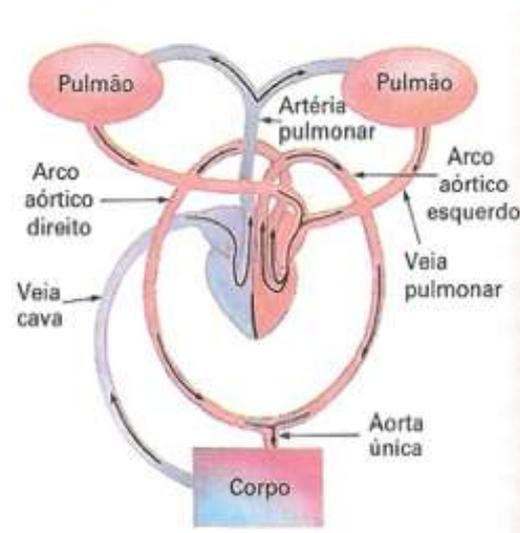
## CIRCULAÇÃO EM RÉPTEIS

Nos répteis, o coração apresenta **três cavidades**, sendo **tricavitário: dois átrios (um esquerdo e um direito) e um ventrículo**. Entretanto, o ventrículo único está parcialmente dividido, o que equivale a dizer que uma quarta cavidade está começando a se formar. A separação do ventrículo em duas porções, esquerda e direita, é feita por uma parede muscular denominada **septo de Sebatier**. Tal estrutura permite uma separação mais efetiva dos tipos de sangue, reduzindo ainda mais a mistura de sangue arterial e venoso no coração. O seio venoso está presente e associado também ao átrio direito, com a mesma função já descrita anteriormente. O cone está modificado, fazendo parte das bases dos vasos que saem do ventrículo.

Dentre os répteis, apenas os **crocodilianos** possuem o ventrículo completamente separado, apresentando efetivamente **quatro cavidades no coração, sendo tetracavitários**. Entretanto,

existe uma comunicação entre as duas artérias que saem dos ventrículos esquerdo e direito. Esta comunicação, denominada **forame de Panizza**, permite uma pequena mistura de sangue venoso com arterial, mesmo havendo ventrículos separados.

A circulação em répteis é **dupla e incompleta**, pois o sangue passa duas vezes no coração a cada ciclo cardíaco e porque ainda há mistura de sangue arterial e venoso. Mesmo nos crocodilianos, que possuem dois ventrículos completamente separados, a mistura de sangue se dá através do forame de *Panizza*, caracterizando também uma circulação incompleta.



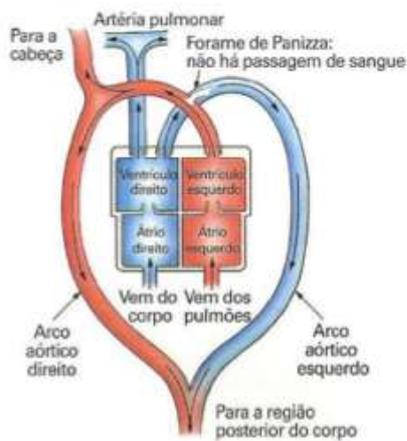
Circulação em réptil.

Tome nota:

## LEITURA – CIRCULAÇÃO EM RÉPTEIS CROCODILIANOS

Nos crocodilianos, como há dois ventrículos, cada um dos arcos aórticos origina-se de um dos ventrículos: o arco aórtico direito parte do ventrículo esquerdo e o arco aórtico esquerdo parte do ventrículo direito. No ponto onde esses dois arcos aórticos se cruzam, há uma comunicação entre eles, chamada **forame de Panizza**, e o padrão circulação sanguínea nesses animais varia dependendo da atividade de cada um deles.

Quando os crocodilianos estão em repouso, a circulação de sangue no coração desses animais ocorre como esquematizado a seguir:



Esquema simplificado mostrando a relação entre o coração e os principais vasos em um crocodiliano quando em repouso.

O sangue chega venoso ao átrio direito pelas veias cavas e passa para o ventrículo direito. Ao mesmo tempo, o sangue chega arterial ao átrio esquerdo pelas veias pulmonares e passa para o ventrículo esquerdo.

Assim, no lado direito do coração há apenas sangue venoso e no lado esquerdo do coração há apenas sangue arterial.

Quando os dois ventrículos se contraem, o sangue venoso do ventrículo direito passa para as artérias pulmonares e vai ser oxigenado nos pulmões; ao mesmo tempo, como no ventrículo direito também se abre o arco aórtico esquerdo, este recebe sangue venoso e conduz para as vísceras e para a região posterior do corpo.

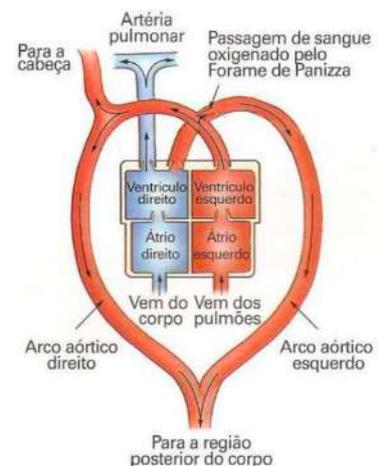
No ventrículo esquerdo, o sangue oxigenado é conduzido para o arco aórtico direito, que logo após o forame de *Panizza* divide-se em duas artérias: uma que leva o sangue oxigenado para a cabeça e outra que leva sangue oxigenado para o corpo.

Em seguida, esta última se une com a aorta esquerda em uma aorta única, ocorrendo nessa região mistura do sangue venoso com o arterial.

Nessa situação, o sangue **não flui** através do forame de *Panizza* pois a pressão sanguínea nos dois arcos aórticos é a mesma.

Entretanto, quando o animal está em atividade, o ventrículo esquerdo bombeia sangue com mais força e a pressão no arco aórtico direito fica maior que no arco esquerdo. Nesse caso, o sangue arterial presente no arco aórtico direito **flui** pelo forame de *Panizza* para o arco aórtico esquerdo. Com a isso, a pressão nesse arco aumenta e provoca o fechamento da válvulas ventricular que se localiza na saída desse arco no ventrículo direito. Com essa válvula fechada, o arco aórtico esquerdo deixa de receber sangue venoso e passa a conduzir apenas sangue arterial.

Quando esses animais estão submersos, a circulação modifica-se novamente, pois nessa situação não há entrada de ar nos pulmões. Nesse caso ocorre redução de circulação pulmonar, com constrição da artéria pulmonar. Com isso, a pressão do ventrículo direito aumenta e o sangue venoso que ele contém é desviado para o arco aórtico esquerdo, que passa então a conduzir sangue venoso. Essa alteração na circulação propicia retenção de calor e aquecimento dos membros, mantendo a temperatura adequada do corpo.



Esquema simplificado mostrando a relação entre o coração os principais vasos em um crocodiliano em atividade

Extraído de Sônia Lopes Bio volume 2

## CIRCULAÇÃO EM AVES E MAMÍFEROS

Em aves e mamíferos, o coração está dividido em **quatro cavidades distintas, completamente separadas e sem nenhuma comunicação, sendo tetracavitário**. Assim, há **dois átrios (esquerdo e direito) e dois ventrículos (esquerdo e direito)**. Funcionalmente falando, pode-se dividir o coração em dois setores: **pelo coração direito (átrio e ventrículo direitos) circula apenas sangue venoso, e pelo coração esquerdo (átrio e ventrículo esquerdos) circula apenas sangue arterial**.

Como o sangue venoso e o arterial passam pelo coração a cada ciclo de batimentos cardíacos, a circulação de aves e mamíferos é **dupla** e como não há mistura de sangue venoso e arterial, a circulação de tais organismos é **completa**.

Nas aves e nos mamíferos, o seio venoso reduz-se muito, estando incorporado à parede do átrio direito, e o cone arterioso incorpora-se à base da artéria pulmonar e à base da aorta.

A circulação dupla que ocorre em aves e mamíferos divide-se em grande circulação e pequena circulação.

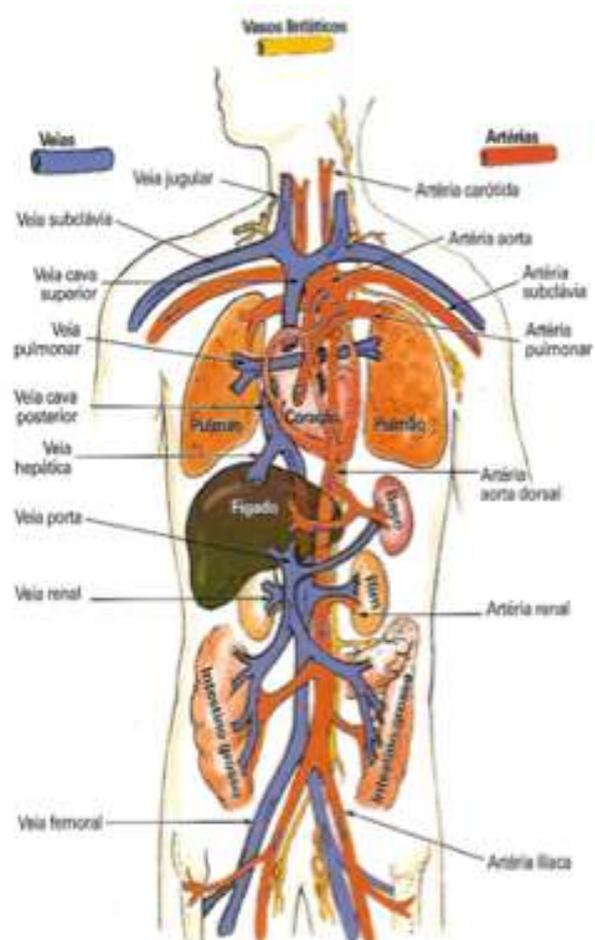
Na **grande circulação** (circulação sistêmica), o sangue oxigenado parte do ventrículo esquerdo pela artéria aorta, é distribuído (através das numerosas ramificações da aorta) para a cabeça, os braços, o tronco, as vísceras abdominais e para as pernas, voltando depois, já pobre em oxigênio mas com elevado teor de dióxido de carbono, pela veia cava inferior (sangue venoso proveniente das pernas e dos órgãos abdominais) e cava superior (sangue venoso proveniente da cabeça e dos braços), chegando ao átrio direito.

Na **pequena circulação (circulação pulmonar)**, o sangue carbonado ou venoso parte do ventrículo direito pela artéria pulmonar, que se ramifica logo em seguida em dois troncos, um que vai para o pulmão direito, outro que vai para o pulmão esquerdo. Nos pulmões, esses troncos se ramificam até formar uma vasta rede de capilares no nível dos alvéolos. Ocorre a hematose (troca de gás carbônico por oxigênio nos alvéolos), e o sangue que volta dos pulmões já está novamente oxigenado. Ele retorna ao coração por quatro veias pulmonares, que

se juntam duas a duas, originando dois troncos que desembocam no átrio esquerdo.

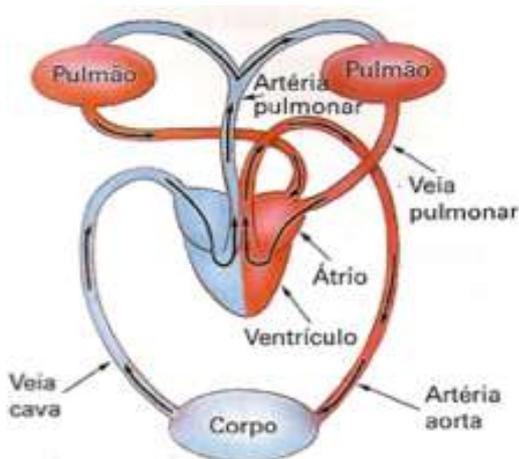
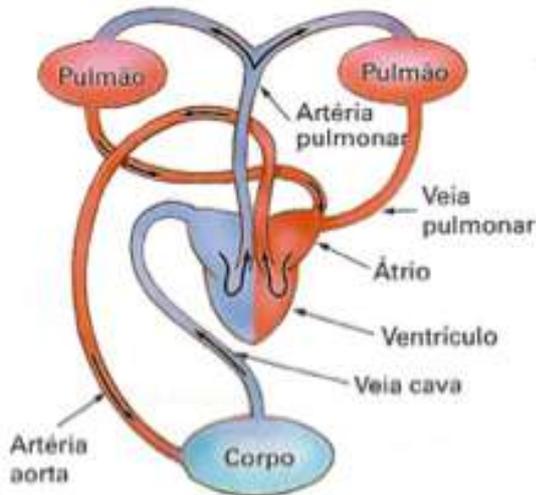
Ao longo do seu trajeto, a **aorta** emite os seguintes ramos arteriais, dentre outros

- **coronárias** (para o coração);
- **carótidas internas e externas** (para a cabeça e cérebro);
- **subclávias** (para os braços);
- **gástrica** (para o estômago);
- **hepática** (para o fígado);
- **pancreática** (para o pâncreas);
- **mesentéricas** (para o intestino);
- **renais** (para os rins);
- **esplênica** (para o baço);
- **pudendas** (para os órgãos genitais);
- **ilíacas** (para as pernas).



A grande diferença entre as circulações de aves e mamíferos diz respeito à posição da aorta, que é a grande artéria que sai do ventrículo esquerdo

conduzindo sangue arterial para todos os tecidos corporais: nas **aves** a aorta faz uma curva após sair do coração e direciona-se para a região inferior do corpo pelo lado **direito** do corpo; nos **mamíferos**, a curva da aorta é feita pelo lado **esquerdo** do corpo. A curva que a aorta faz é denominada **crossa da aorta**.



Primeiro, esquema da circulação em aves; depois, esquema da circulação em mamíferos. Repare na diferença do caminho seguido pela aorta: em aves para a direita e em mamíferos para a esquerda.

De maneira resumida: **circulação simples** é aquela em que o sangue só passa uma vez pelo coração a cada ciclo cardíaco (sempre sendo sangue venoso) e **circulação dupla** é aquela em que o sangue passa duas vezes pelo coração a cada ciclo cardíaco (sangue venoso e sangue arterial simultaneamente); **circulação incompleta** é aquela em que há mistura de sangue venoso com arterial, e **circulação completa** é aquela em que não há mistura de sangue venoso e arterial.

**Peixes** possuem **circulação simples e completa**, **anfíbios e répteis** possuem **circulação dupla e incompleta** e **aves e mamíferos** possuem **circulação dupla e completa**.

#### Importante!

A dupla circulação tem a grande vantagem de o sangue recuperar a pressão após o sangue ser oxigenado nos pulmões, melhorando a sua distribuição pelo organismo e conseqüentemente melhorando a oxigenação do organismo. Além disso, a ausência de mistura de sangue venoso e arterial a circulação completa aumenta ainda mais a distribuição de oxigênio para todas as células do corpo. Esses aspectos parecem estar relacionados à evolução desses animais (aves e mamíferos) como endotérmicos, que aquecem seu corpo através da energia liberada no metabolismo. Este deve, então, ser mais alto que o verificado nos animais ectotérmicos (peixes, anfíbios e répteis) em que a fonte de energia para aquecer o corpo é externa (o sol, por exemplo).

Em função disso, nos animais endotérmicos, as células necessitam de maior quantidade de oxigênio que as células dos animais ectotérmicos, necessitando aqueles, pois, de uma circulação mais eficiente.

#### Tome nota: