

**Biologia 4**  
**Fisiologia Animal**



# **Pré-Vestibular**

## **Teoria e Exercícios Propostos**



Editora COC – Empreendimentos Culturais Ltda.  
Rua General Celso de Mello Rezende, 301  
Tel.: (16) 3603.9700 – CEP 14095-270  
Lagoinha – Ribeirão Preto – SP





## Capítulo 01. Nutrição e Digestão

1. Nutrientes .....	9
2. Digestão Comparada .....	10
3. Sistema Digestório Humano .....	10
3.1. Tubo Digestório .....	10
3.2. Órgãos Anexos .....	11
4. Fisiologia da Digestão Humana .....	12
4.1. Digestão Enzimática .....	12
4.2. Absorção dos Nutrientes .....	13
5. Controle da Atividade Digestiva .....	13
5.1. Controle Nervoso .....	13
5.2. Controle Hormonal .....	14
6. Digestão em Outros Vertebrados .....	15
6.1. Herbívoros Ruminantes .....	15
6.2. Aves .....	16
6.3. Outras Adaptações .....	16

## Capítulo 02. Respiração

1. Introdução .....	17
2. Trocas Gasosas nos Seres Vivos .....	17
3. Respiração Comparada .....	18
4. Sistema Respiratório Humano .....	20
4.1. Mecânica Ventilatória .....	22
4.2. Controle da Respiração .....	23
5. Aves e Sacos Aéreos .....	24

## Capítulo 03. Circulação

1. Sangue .....	25
1.1. Elementos Figurados do Sangue .....	26
1.2. Coagulação Sangüínea .....	28
2. Sistema Circulatorio .....	29
2.1. Circulação Comparada .....	29
2.2. Componentes da Circulação Fechada .....	30
3. Sistema Linfático .....	32
4. Circulação nos Vertebrados .....	32
4.1. Peixes .....	32
4.2. Anfíbios .....	33
4.3. Répteis .....	34
4.4. Aves e Mamíferos .....	34

# Índice.biologia 4

5. Coração Humano .....	37
6. Transporte de Gases nos Mamíferos .....	39
7. Mecanismos de Defesa .....	40
7.1. Sistema Imunológico.....	40
7.2. Imunizações .....	42

## Capítulo 04. Excreção

1. Introdução .....	44
2. Excreção e Homeostase .....	44
3. Excreção Comparada .....	46
4. Sistema Urinário Humano .....	48
4.1. Produção da Urina .....	49
4.2. Regulação da Função Renal .....	50

## Capítulo 05. Sistema Nervoso

1. Introdução .....	51
2. Sistema Nervoso Comparado .....	51
3. Neurônios e Nervos .....	52
3.1. Impulso Nervoso .....	54
3.2. Sinapse .....	55
4. Sistema Nervoso Central .....	57
4.1. Composição .....	57
4.2. Ato e Arco Reflexo.....	58
5. Sistema Nervoso Periférico .....	59

## Capítulo 06. Sistema Muscular

1. Movimentos e Músculos .....	61
2. Tecidos Musculares .....	61
3. Contração Muscular .....	62
3.1. Energética da Contração .....	63
3.2. Biomecânica da Contração .....	63



## Capítulo 07. Sistema Endócrino

1. Tecido Epitelial de Revestimento e Glandular .....	65
2. Hipófise ou Pituitária .....	66
2.1. Hormônio Folículo-Estimulante (FSH) .....	68
2.2. Hormônio Luteinizante (LH) .....	68
2.3. Hormônio de Crescimento (GH) ou Somatotrófico (STH) .....	68
2.4. Prolactina ou Hormônio Lactogênico .....	68
2.5. Hormônio Tireotrófico (TSH) .....	68
2.6. Hormônio Adrenocorticotrófico (ACTH) .....	69
2.7. Ocitocina .....	69
2.8. Hormônio Antidiurético (ADH) ou Vasopressina .....	69
3. Tireóide .....	69
3.1. Tiroxina e Triiodotironina .....	69
3.2. Calcitonina .....	70
4. Paratireóides .....	70
5. Pâncreas .....	71
5.1. Glucacon .....	71
5.2. Insulina .....	71
6. Adrenais (ou Supra-Renais) .....	73
6.1. Glicocorticóides .....	73
6.2. Mineralocorticóides .....	73
6.3. Androgênios .....	73
6.4. Adrenalina e Noradrenalina .....	73

## Capítulo 08. Reprodução

1. Sistema Genital Masculino .....	74
2. Sistema Genital Feminino .....	75
3. Gametogênese .....	77
3.1. Introdução .....	77
3.2. Espermatogênese .....	77
3.3. Ovogênese .....	79
3.4. Fecundação .....	81
4. Ciclo Menstrual .....	82
5. Métodos Anticoncepcionais .....	85





## Capítulo 01. Nutrição e Digestão

### 1. Nutrientes

A impossibilidade de sintetizar todas as substâncias que participam do seu metabolismo obriga os animais a obtê-las ingerindo tecidos de outros seres vivos, animais ou vegetais, que são fontes desses compostos.

Os alimentos são constituídos pelos seguintes compostos: água, sais, ácidos nucleicos, vitaminas, carboidratos, lipídios e proteínas.

Os carboidratos e os lipídios são alimentos **energéticos**, pois são utilizados como combustíveis celulares. Ao serem oxidados, liberam energia para as atividades celulares, energia esta transferida para as moléculas de ATP.

As proteínas são chamadas de alimentos **plásticos ou estruturais**. Também os lipídios são enquadradas nessa classificação, por fazerem parte da membrana plasmática e de outras membranas da célula. As proteínas apresentam outras funções importantes como: enzimáticas, imunização etc.

Quando o alimento é ingerido, apresenta muitas moléculas grandes e complexas, típicas do ser vivo que as produziu. Elas precisam ser reduzidas a moléculas menores e

solúveis em água, que possam ser absorvidas e utilizadas pelas células. Tal processo se chama **digestão**.

Água, sais e vitaminas podem ser empregados pelas células sem serem digeridas. As proteínas são digeridas em aminoácidos, os açúcares em monossacarídeos e as gorduras em glicerol e ácidos graxos. A digestão envolve adição de água à molécula que está sendo fragmentada. A reação se processa rapidamente, por ser catalisada pelas **enzimas digestivas**.

Esse tipo de reação denomina-se **hidrólise enzimática**. As enzimas são quase sempre específicas na quebra dos alimentos, embora a especificidade não seja tão restrita como a das enzimas que atuam em outros processos metabólicos. Isto representa uma vantagem para o processo digestivo, já que o alimento possui uma ampla variedade de compostos parecidos, mas não idênticos.

As vitaminas são alimentos **reguladores**, que agem como auxiliares das enzimas (coenzimas).

A tabela sobre as vitaminas oferece uma idéia da importância das mesmas no metabolismo, suas fontes e o que ocorre em casos de deficiência (hipovitaminoses).

Quadro de vitaminas

Vitaminas	Principais fontes	Função	Sintomas de deficiência
A, retinol	gema de ovo, hortaliças verdes ou amarelas, frutas, fígado, manteiga	formação de pigmentos visuais, manutenção da estrutura epitelial normal	cegueira noturna, pele seca, escamosa
D, calciferol	óleos de peixes, fígado, leite e outros produtos da pecuária, ação da luz sobre lípidos da pele	aumento da absorção intestinal do cálcio, importante na formação de ossos e dentes	raquitismo (formação deficiente dos ossos)
E, tocoferol	hortaliças verdes folhosas	mantém a resistência das hemácias à hemólise	fragilidade das hemácias, esterilidade
K, filoquinona	síntese por bactérias intestinais, hortaliças folhosas	permite a síntese da protrombina pelo fígado	ausência de coagulação sanguínea

**Quadro de vitaminas**

Vitaminas	Principais fontes	Função	Sintomas de deficiência
B <sub>1</sub> , tiamina	cérebro, fígado, rim, coração, cereais não beneficiados	relacionada com descarboxilações, formação de enzimas envolvidas no ciclo de Krebs	beribéri, neurite, insuficiência cardíaca, distúrbio mental
B <sub>2</sub> , riboflavina	leite, ovos, fígado, cereais não beneficiados	flavoproteínas envolvidas no transporte de elétrons	fotofobia, fissuras na pele
B <sub>3</sub> , niacina (ácido nicotínico)	cereais não beneficiados, fígado, legumes	parte das co-enzimas NAD, NADP e CoA	pelagra (dermatite, diarreia e alterações neurológicas)
B <sub>6</sub> , piridoxina	cereais não beneficiados, fígado, verduras	co-enzimas para metabolismo de aminoácidos e de ácidos graxos	dermatite, distúrbios nervosos
B <sub>12</sub> , cianocobalamina	fígado, ovos, carnes	síntese de nucleoproteínas (RNA), previne anemia perniciosa	anemia perniciosa, hemácias malformadas
Ácido fólico	fígado, verduras	síntese de nucleoproteínas, formação de hemácias	hemácias não amadurecem, anemia
C, ácido ascórbico	frutas cítricas, tomate, verduras	vital para o colágeno e substância intercelular	escorbuto, ausência da formação de fibras do tecido conjuntivo

## 2. Digestão Comparada

Nos protozoários, a digestão é exclusivamente **intracelular**, assim como nos poríferos. O alimento é englobado pelas células e, em seu interior, sofre a ação das enzimas dos lisossomos. Os animais que possuem um **tubo digestório** dentro do qual o alimento é digerido são chamados **enterozoários**. Celenterados e platelmintos são **enterozoários incompletos**, pois têm apenas um orifício (a boca), para entrada dos alimentos e saída dos dejetos. Parte da digestão se processa neste tubo incompleto (**digestão extracelular**), mas prossegue no interior das células. Platelmintos parasitas podem não apresentar tubo digestório, absorvendo nutrientes já digeridos pelo hospedeiro.

Os **enterozoários completos** possuem tubo digestório com dois orifícios (a boca e o ânus). Os anelídeos têm digestão extracelular em um tubo completo, provido de uma prega que aumenta sua superfície interna, a tiflosole. Digestão extracelular e tubo completo também são encontrados nos artrópodes, nos moluscos, nos equinodermos e nos cordados.

## 3. Sistema Digestório Humano

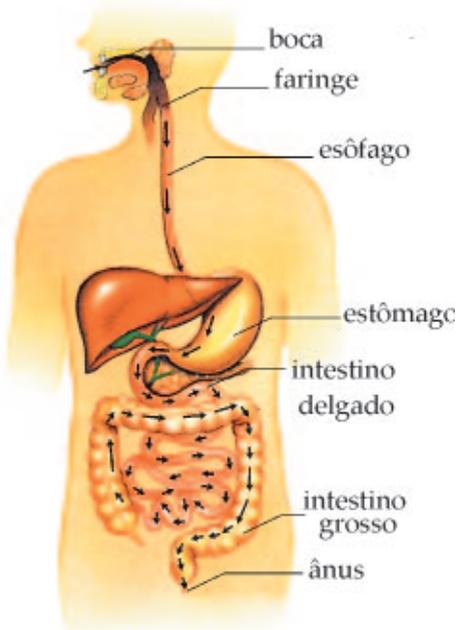
### 3.1. Tubo Digestório

O tubo digestório é constituído pela boca, o esôfago, o estômago, o intestino delgado, o intestino grosso e o reto – que se abre no ânus. Como o tubo possui duas aberturas em comunicação com o exterior, o seu interior (ou luz) é considerado meio externo.

A maior parte do tubo digestório possui um músculo liso em sua parede, cuja contração faz com que o alimento seja propelido em seu interior e misturado com as secreções digestivas. Trata-se do movimento peristáltico ou simplesmente peristaltismo.

As glândulas salivares, o fígado e o pâncreas produzem secreção exócrina lançada no tubo digestório, o que auxilia a digestão dos alimentos, bem como as glândulas mucosas da parede do estômago e do intestino delgado.

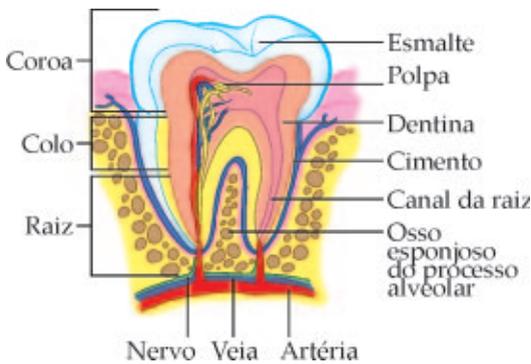
Dentro do tubo digestório, ocorrem com os alimentos fenômenos físicos e químicos. Os fenômenos físicos são a mastigação e o peristaltismo. A degradação química é realizada pelas enzimas digestivas.



O tubo digestório humano

A boca é uma cavidade situada na face, delimitada anteriormente pelos lábios, lateralmente pelas bochechas, superiormente pelo palato, inferiormente pelo assoalho da boca e posteriormente pela orofaringe. No assoalho da boca encontra-se a língua, útil como órgão do paladar, na deglutição e na fonação.

Os dentes são órgãos esbranquiçados, duros, implantados nos ossos maxilares em cavidades chamadas alvéolos.



Morfologia e anatomia do dente

Classificam-se, de acordo com a morfologia e a função, em:

- a) incisivos: dentes cortadores;
- b) caninos: dentes prendedores (ou "presas");
- c) pré-molares e molares: dentes trituradores.

O esôfago é um tubo com cerca de 25 cm de comprimento. Está situado atrás da traquéia e em frente da coluna vertebral.

O estômago é uma dilatação do tubo, situado abaixo do diafragma e à esquerda do fígado. Possui forma variável em função do seu grau de enchimento e da maior ou menor contração de suas fibras. Sua capacidade é de um litro a um litro e meio. Comunica-se superiormente com o esôfago por meio da cárdia e inferiormente com o intestino delgado através do piloro. Tanto a cárdia como o piloro possuem ação valvular, permitindo a passagem do alimento apenas em um sentido.

O intestino delgado é um longo tubo situado no abdome, dobrado sobre si mesmo várias vezes, formando as alças intestinais. O intestino delgado dos carnívoros é menor que o dos herbívoros. No homem, que tem uma alimentação mista, o intestino delgado mede de 7 a 8 metros, por 2 a 3 cm de diâmetro. Comunica-se com a primeira porção do intestino grosso pela válvula íleo-cecal.

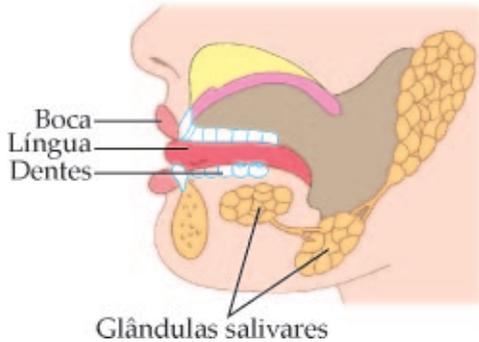
O intestino grosso possui 1,5 m de comprimento e 5 cm de diâmetro. Estende-se da válvula íleo-cecal até o reto, com o formato de um U invertido.

A última porção do tubo digestório é o reto, um tubo retilíneo que termina no orifício anal.

### 3.2. Órgãos Anexos

São órgãos que lançam seus produtos no tubo digestório, auxiliando a digestão dos alimentos.

As glândulas salivares abrem-se, através de seus ductos, na boca. Secretam a saliva. São 3 pares: as parótidas, as submandibulares e as sublinguais.

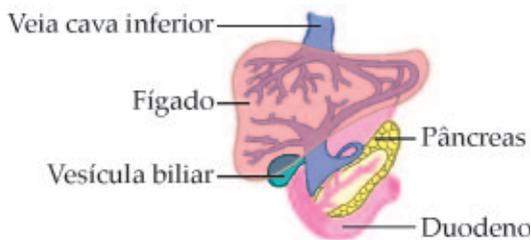


Glândulas salivares

O fígado é a maior glândula do corpo humano, situado abaixo do diafragma, à direita. Pesa cerca de 1.400 g.

Sob o fígado encontra-se a **vesícula biliar**, cuja função é armazenar e concentrar a bile secretada pelo fígado. A vesícula biliar possui um canal chamado ducto cístico, que se une ao ducto hepático para formar o colédoco, que se abre no intestino delgado.

O **pâncreas** está situado atrás do estômago. É formado por dois tipos de células: as que secretam o suco pancreático, lançado no tubo digestório pelo **canal de Wirsung**, e outras que se agrupam nas **ilhotas de Langerhans** e que secretam hormônios (insulina e glucagon).



Órgãos anexos: fígado e pâncreas

## 4. Fisiologia da Digestão Humana

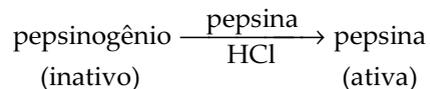
### 4.1. Digestão Enzimática

O alimento, na boca, é triturado pelos dentes e misturado com a saliva, produzida pelas glândulas salivares. A trituração aumenta a superfície total das partículas de alimento, ampliando a área de exposição às enzimas digestivas, enquanto a saliva o umidifica. A saliva é uma secreção de pH neutro (próximo de 7), ideal para a ação da enzima nela presente, a **ptialina** ou **amilase salivar**. Essa enzima inicia a digestão química do amido, quebrado em moléculas de maltose.

A deglutição inicia-se com movimentos da língua, que impele o alimento ao esôfago, através da faringe. Na passagem do alimento pelo esôfago e sua chegada à cárdia ocorrem movimentos peristálticos da musculatura lisa.

O revestimento interno do estômago (mucosa gástrica) produz o **suco gástrico**, que possui ácido clorídrico e tem pH ácido. Esta mudança do pH faz com que a ptialina seja inativada. O estômago é recoberto internamente por uma camada de mucina, que o protege da ação do próprio suco gástrico.

No estômago, as proteínas são digeridas pela **pepsina**, enzima presente no suco gástrico e produzida na sua forma inativa, o pepsinogênio. Quando liberado na luz do estômago, o pepsinogênio entra em contato com o ácido clorídrico, transformando-se em uma enzima ativa. Tal conversão é auxiliada pelas moléculas de pepsina já presentes dentro do estômago.



A pepsina atua sobre as proteínas da dieta, reduzindo-as a oligopeptídeos, compostos formados por poucos aminoácidos. É importante lembrar que cada enzima age bem em uma faixa muito limitada de pH, chamada **pH ótimo**.



Os movimentos peristálticos continuam ao longo do estômago e dos intestinos, propagando o bolo alimentar.

No intestino, o alimento sofre ação da bile, do suco pancreático e do suco entérico.

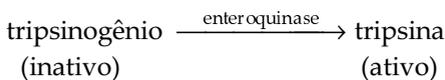
A bile, produzida pelo fígado e armazenada na vesícula biliar, auxilia a digestão das gorduras. As gotas de lipídios dos alimentos, ao chegarem ao intestino delgado, têm a sua tensão superficial diminuída por ação dos sais biliares, transformando-se em gotículas. Tal processo chama-se emulsificação.

O passo seguinte é a quebra dos lipídios por uma enzima chamada **lipase**, presente no suco pancreático. Este também possui o tripsinogênio, forma inativa da qual é produzida a **tripsina**, enzima que quebra proteínas em oligopeptídeos. A **amilase pancreática** atua sobre o amido. Ainda no suco pancreático, encontramos as **nucleases**, que rompem as moléculas de ácidos nucleicos (DNA e RNA). Tanto a bile como o suco pancreático têm bicarbonato de sódio e pH alcalino.

No suco entérico, produzido pela mucosa que reveste o intestino delgado, encontram-se a **maltase**, a **lactase** e a **sacarase**, que atuam, respectivamente, sobre a maltose, a lactose e a sacarose, transformando-as em monossacarídeos.

Dissacarídeos	Monossacarídeos
maltose	$\xrightarrow{\text{maltase}}$ glicose + glicose
sacarose	$\xrightarrow{\text{sacarase}}$ glicose + frutose
lactose	$\xrightarrow{\text{lactase}}$ glicose + galactose

Encontram-se também as **peptidases**, que quebram os oligopeptídeos em aminoácidos. Finalmente, existe aí a enteroquinase, que transforma o tripsinogênio em tripsina.



### 4.2. Absorção dos Nutrientes

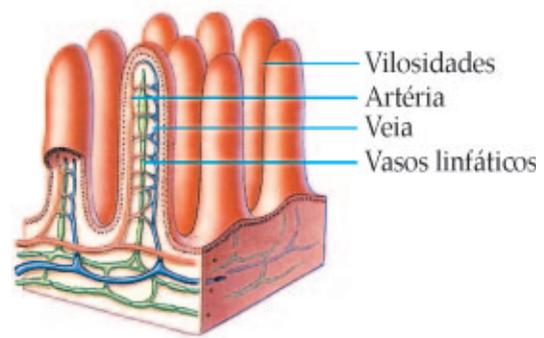
Após o término da digestão química, os produtos resultantes atravessam a mucosa que forra o intestino delgado e passam para

os vasos sanguíneos e linfáticos, processo esse que constitui a absorção.

A superfície do intestino delgado é muito aumentada em função da presença das vilosidades (dobras da mucosa) e das microvilosidades (dobras da membrana plasmática das células da mucosa).

Aminoácidos e monossacarídeos são absorvidos e recolhidos pela corrente sanguínea. Já os ácidos graxos são absorvidos pela circulação linfática. A água, os sais minerais e vitaminas, como já foi dito, são absorvidos sem nenhuma transformação prévia.

O intestino grosso é o local de absorção de água e formação das fezes



Detalhe das vilosidades intestinais

## 5. Controle da Atividade Digestiva

Toda **glândula** que produz secreção digestiva deve ser estimulada para que o faça no momento oportuno. A coordenação dessa produção se consegue de duas maneiras: pelo sistema nervoso autônomo e por hormônios.

### 5.1. Controle Nervoso

O sistema nervoso autônomo tem duas divisões: o sistema simpático, que inibe a produção de secreções digestivas, e o sistema parassimpático, que estimula sua produção. O principal ramo visceral do sistema nervoso parassimpático é o nervo vago.

As glândulas salivares são reguladas pelo sistema nervoso. O odor e o sabor dos alimentos, bem como o contato do alimento com a boca, estimulam terminações nervosas que levam impulsos ao centro da salivação, no bulbo. Deste, partem impulsos para as glândulas salivares, estimulando a secreção.

Devemos a maior parte de nossos conhecimentos sobre os mecanismos que regulam a secreção do suco gástrico ao fisiologista russo Pavlov, que desenvolveu várias técnicas experimentais.

Uma delas se constitui em seccionar o esôfago de um cachorro de maneira que os dois extremos cortados se exteriorizem no pescoço. Assim, ao se alimentar o cachorro, ao invés de o alimento progredir para o estômago, ele sai pelo orifício artificial.

Ainda que o alimento não seja empregado, essa comida “fantasma” provoca secreção de suco gástrico com volume de 25% em relação ao volume normal.

Esse volume é estimulado por impulsos nervosos. Essa secreção fica suprimida por completo se seccionarmos os nervos que vão ao estômago.

### 5.2. Controle Hormonal

Com a introdução de alimento pelo orifício que vai ao estômago, sem que o animal possa vê-lo, cheirá-lo ou saboreá-lo, estimula-se a secreção de metade do volume normal do suco gástrico. Essa secreção ocorre mesmo quando se secciona a inervação do estômago, ainda que seu volume se reduza. Esse fluxo depende, em parte, da ação de um hormônio chamado **gastrina**.

As células da mucosa próxima ao piloro produzem gastrina, lançada na corrente sanguínea sempre que há contato com o alimento. Se injetarmos extratos dessas células na circulação de um animal, a mucosa gástrica do mesmo começa a produzir suco gástrico em pouco tempo.

A gastrina é o hormônio que estimula a produção e secreção do suco gástrico durante o processo digestivo.

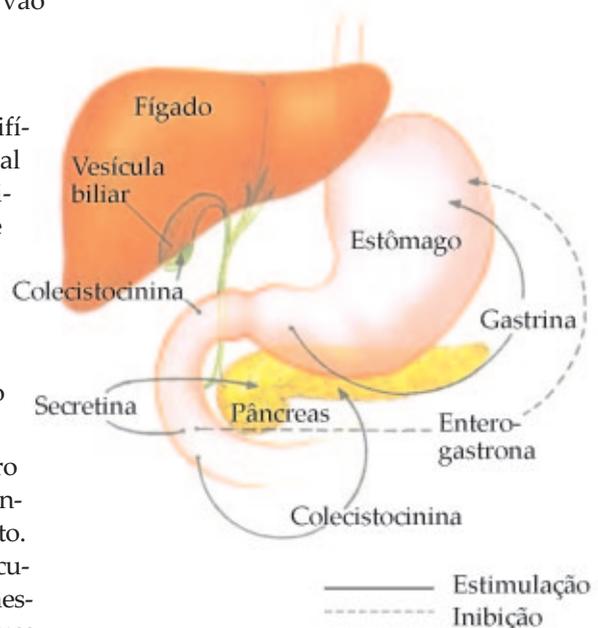
O duodeno produz o hormônio **enterogastrona** quando o alimento acidificado chega ao intestino. A enterogastrona retarda o esvaziamento gástrico pois inibe a produção de gastrina pelo estômago.

A liberação de bicarbonato de sódio pelo pâncreas é estimulada pelo hormônio **secretina**, produzido pela mucosa da primeira porção do intestino delgado – o duodeno – assim que o alimento entra nessa porção vindo do estômago.

No duodeno também é produzido o hormônio **colecistoquinina** que atua sobre a vesícula biliar, provocando a sua contração com liberação de bile no intestino delgado.

A **bile** é importante para a **emulsificação** das gorduras, facilitando a ação das lipases.

A **colecistoquinina** também atua sobre o pâncreas, aumentando a **secreção** de enzimas digestivas.



Ação dos hormônios na digestão



## 6. Digestão em Outros Vertebrados

### 6.1. Herbívoros Ruminantes

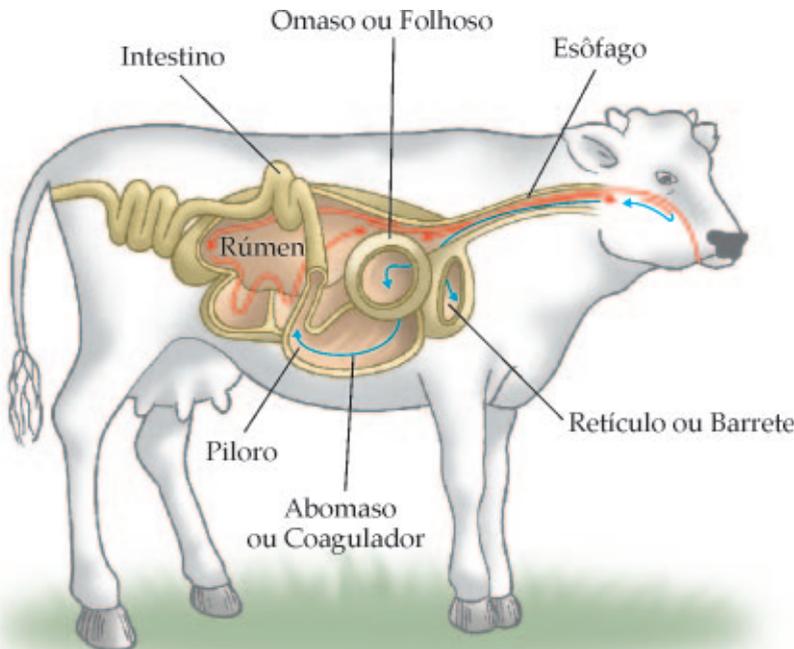
A celulose, polissacarídeo de elevado peso molecular, constituinte da parede das células vegetais, é componente importante em massa, na nossa dieta. Todavia, a sua assimilação é impossível, visto que não há, no tubo digestório humano, enzima capaz de hidrolisá-la.

Os herbívoros têm dieta riquíssima em celulose. Muitos possuem o apêndice cecal com mais de 1 metro de comprimento, com abundante flora de microorganismos digestores de celulose. Parte da celulose digerida é assimilada pelo próprio herbívoro.

Nos herbívoros ruminantes (boi, carneiro, camelo, girafa, veado etc.), o estômago é volumoso e dividido em 4 câmaras.

O alimento é deglutido rapidamente e cai no maior compartimento – a **pança** ou **rúmen**. Aí, a celulose é atacada por bactérias e protozoários. A seguir, o alimento vai para o **barrete** ou **retículo**, onde é misturado a uma secreção aquosa abundante. Em seguida, é devolvido à boca e remastigado (ruminação). Novamente deglutido, passando pelo rúmen, vai ao **folhoso** ou **omaso**, que absorve água, e para o **coagulador** ou **abomaso**, que produz enzimas digestivas e se comporta como o estômago verdadeiro.

Finalmente, dirige-se ao intestino delgado. Além de participar da digestão da celulose, flora simbiote presente no tubo digestório dos herbívoros produz vitamina B<sub>12</sub> e vitamina K.



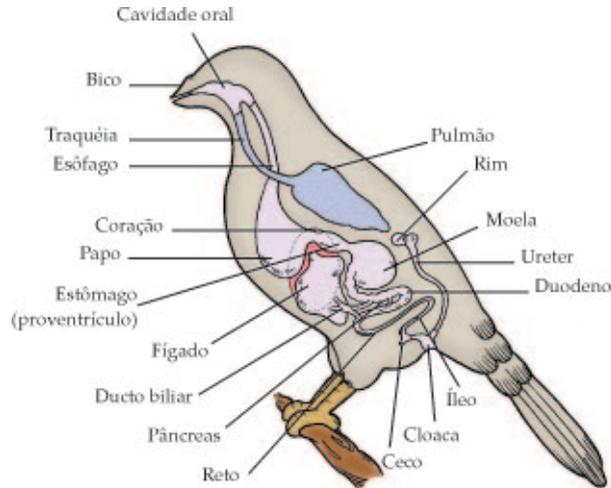
Sistema digestório de um ruminante.

### 6.2. Aves

Compensando a ausência de dentes, as aves possuem dois estômagos. O primeiro é um estômago químico – o **pró-ventrículo** – que produz enzimas digestivas. O segundo é um estômago mecânico – a **moela** – de parede muscular, que tritura o alimento.

A maioria das aves não possuem o intestino grosso ou este é muito curto. A absorção de água ocorre no intestino delgado. As vias urinárias e reprodutoras abrem-se na cloaca.

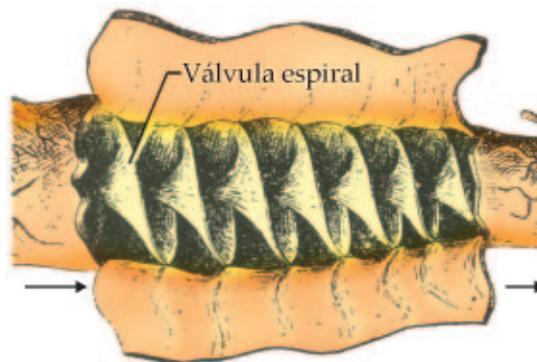
Elas possuem no esôfago uma dilatação chamada **papo**, reservatório do alimento deglutido.



Sistema digestório de uma ave.

### 6.3. Outras Adaptações

As minhocas apresentam pregas na superfície interna de seu intestino: a essas pregas dá-se o nome de **tiflosoles**. Elas aumentam a superfície de absorção de nutrientes, assim como as vilosidades e as microvilosidades intestinais. Em peixes cartilagosos, tal prega tem disposição helicoidal dentro do intestino, sendo chamada de **válvula espiral**.



Válvula espiral no intestino do tubarão.



# Capítulo 02. Respiração

## 1. Introdução

Em Biologia, a palavra **respiração** tem dois significados distintos. Em nível celular, significa a quebra (oxidação) de moléculas orgânicas para a extração de energia. Para os organismos multicelulares, envolve também os processos de obtenção de oxigênio e eliminação de gás carbônico. É evidente que este último processo é essencial para o primeiro.

A transição da vida aquática para a vida terrestre representou uma revolução no tocante às trocas gasosas. O ar é muito mais rico em oxigênio que a água. Na atmosfera atual, cerca de 21% do ar são constituídos por oxigênio, enquanto que na água, mesmo saturada de ar, essa proporção não passa de 0,4%. Além disso, a água é muito mais densa que o ar e processá-la requer maior gasto energético.

Um peixe gasta 20% do seu trabalho muscular para as trocas respiratórias, enquanto o homem gasta de 1% a 2% nessa atividade.

Por outro lado, a absorção de oxigênio somente ocorre através de superfícies úmidas. Logo, as membranas respiratórias têm que estar constituídas de forma a ficarem permanentemente úmidas.

Composição do ar seco	
N <sub>2</sub>	78%
O <sub>2</sub>	21%
CO <sub>2</sub>	0,03%

## 2. Trocas Gasosas nos Seres Vivos

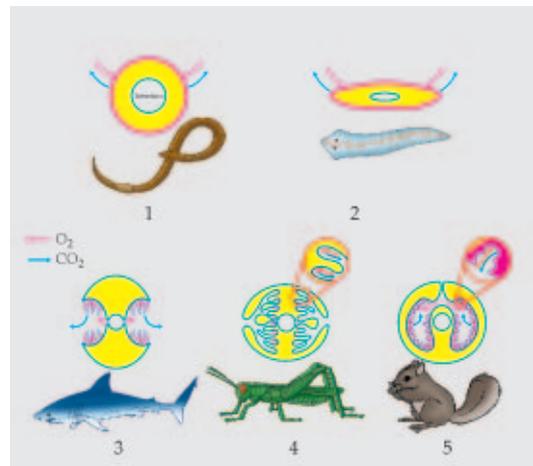
As trocas gasosas com o meio ambiente sempre ocorrem por **difusão**. Em alguns animais, todas as células do corpo recebem oxigênio e eliminam gás carbônico diretamente

para o meio, quer seja através da superfície corporal (respiração difusional), ou através de finos tubos que se ramificam pelo corpo e penetram nos tecidos (respiração traqueal). Em outros animais, as trocas ocorrem em um órgão respiratório, entre o meio ambiente e o sangue, que se encarrega de transportar os gases. Em parte desses animais, as trocas ocorrem com a água (respiração branquial) e, em outros, com o ar (respiração pulmonar).

Brânquias e pulmões têm algumas características comuns, essenciais para a função que executam:

- 1) superfície permanentemente úmida;
- 2) superfície ricamente vascularizada;
- 3) grande área de contato com o meio.

No órgão respiratório, as trocas gasosas entre o sangue e o meio (absorção de O<sub>2</sub> e eliminação de CO<sub>2</sub>) constituem a **hematose**.



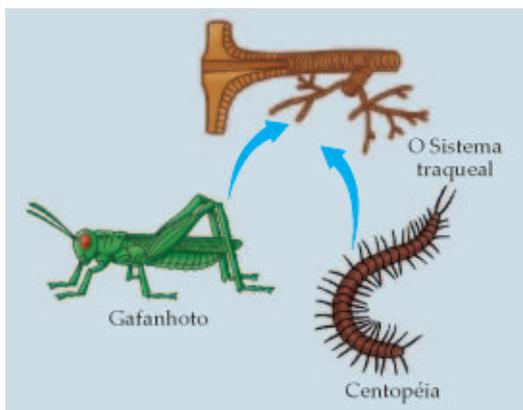
Estruturas para trocas gasosas em diferentes grupos animais

- 1) Minhoca → Respiração cutânea
- 2) Planária → Respiração por difusão pela superfície do corpo
- 3) Tubarão → Respiração branquial
- 4) Gafanhoto → Respiração traqueal
- 5) Esquilo → Respiração pulmonar

### 3. Respiração Comparada

Os protozoários, os poríferos e os celenterados respiram por difusão simples, trocas diretas entre as células e o meio através da superfície corporal. Platemintos e nematelmintos também, embora os endoparasitas sejam, quase sempre, anaeróbios. Os anelídeos constituem o primeiro grupo animal dotado de estrutura respiratória. Realizam trocas gasosas, na superfície do corpo, entre o meio e o sangue (**respiração cutânea**). Difere da respiração por difusão simples pois, nessa, as trocas são diretas entre o meio e as células, enquanto, na respiração cutânea, o sangue é o veículo de transporte de gases. Os anelídeos possuem, dissolvida no sangue, a hemoglobina, pigmento respiratório transportador de gases, principalmente de oxigênio. Alguns anelídeos poliquetas têm respiração branquial.

Dentre os artrópodes, os insetos possuem **respiração traqueal**. Na superfície do corpo, possuem numerosos orifícios, os **espiráculos**, que se comunicam com uma rica rede de tubos (**traquéias**) pelos quais o ar entra em contato direto com as células, realizando trocas gasosas.



Respiração traqueal de artrópodes

Nos insetos, o sangue não participa do transporte de gases respiratórios, sendo desprovido de pigmentos respiratórios.

Os crustáceos têm **respiração branquial** e transportam gases pelo sangue. Os aracnídeos

possuem pulmões foliáceos, que surgem por invaginações da superfície do abdome. Comunicam-se com o exterior através dos espiráculos e têm lamelas em forma de folhas de um livro entreaberto. Trata-se da **respiração filotraqueal**. Algumas aranhas pequenas e os carrapatos têm, apenas, **respiração traqueal**.

Os moluscos possuem **respiração branquial**, com exceção de alguns gastrópodes terrestres, como o caramujo-de-jardim, cuja cavidade do manto, cheia de ar e ricamente vascularizada, age como um pulmão.

Esses "falsos pulmões" dos aracnídeos e dos gastrópodes não contam com mecanismos de renovação do ar de seu interior, sendo chamados **pulmões de difusão**.

Os moluscos bivalves, como o mexilhão, possuem brânquias revestidas de muco e que servem como mecanismo de captura de alimentos, além de realizarem trocas gasosas. São desprovidos de pigmentos respiratórios, e os gases são transportados dissolvidos no sangue.

Equinodermos respiram por meio de brânquias.

Brânquias e pulmões constituem um meio de aumentar a superfície respiratória. As brânquias são evaginações, e os pulmões são invaginações.

A superfície das brânquias é uma fina camada de células, expostas ao meio externo de um lado e aos vasos sangüíneos de outro. Na maioria dos peixes, a água, com  $O_2$  dissolvido, é bombeada para dentro da boca por oscilações da cobertura óssea da brânquia (opérculo), e flui para fora, passando pelas brânquias. Peixes desprovidos de opérculo, como o tubarão, necessitam estar continuamente se movimentando, para que a água penetre pela boca e saia pelas fendas branquiais.

Os pulmões são cavidades internas, para dentro das quais é lançado o ar rico em  $O_2$ . Apresentam certas desvantagens em relação às brânquias. Nelas, o fluxo de água é contínuo.



nuo, enquanto nos pulmões o fluxo de ar é intermitente. Todavia, a enorme diferença na quantidade de  $O_2$  disponível na água e no ar compensa plenamente essa desvantagem.

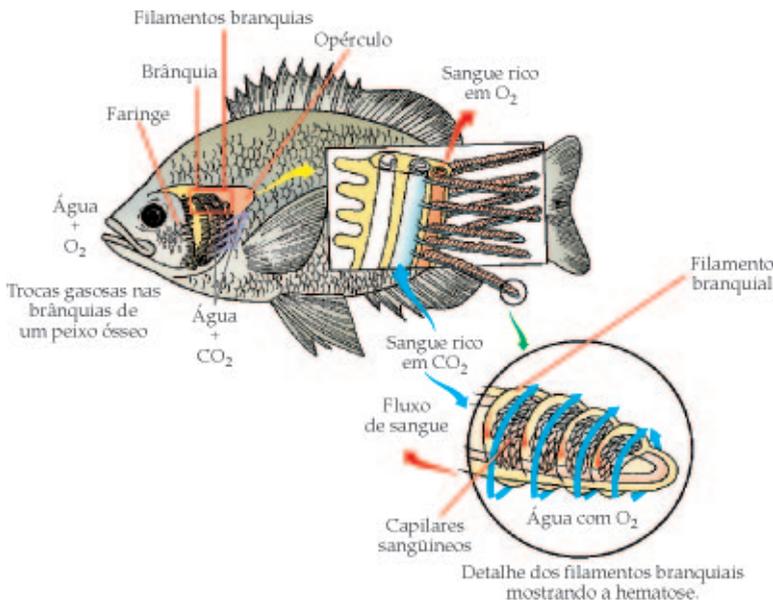
A menor densidade do ar que a da água torna o gasto energético para a mecânica ventilatória muito inferior ao gasto energético dispendido pelos peixes, para renovarem a água em contato com as brânquias.

Os peixes dipnóicos, como a pirambóia, apresentam a bexiga natatória ricamente vascularizada, apta a realizar trocas gasosas entre o sangue e o gás do seu interior.

Quando o teor de oxigênio na água não é suficiente para sua sobrevivência, ou na época da seca, quando o nível da água diminui muito, esses peixes vão à superfície e enchem a bexiga natatória com ar, como um pulmão.

Como se sabe, essa não é a função principal da bexiga natatória, órgão responsável pelo **equilíbrio hidrostático** dos peixes.

Os anfíbios, durante a fase larval, têm vida aquática e respiram por meio de brânquias. Durante a metamorfose, as brânquias em geral desaparecem.



Sistema respiratório dos peixes

Anfíbios adultos têm pulmões simples, com pequena superfície interna, ainda que bem maior que dos peixes dipnóicos. Nesses, o pulmão emerge diretamente da faringe, enquanto que, em outros vertebrados pulmonados, existe um tubo condutor de ar, a traquéia, dotado de um mecanismo valvular, a glote. A presença de narinas permite aos animais respirarem com a boca fechada. Nos anfíbios de pele úmida, como a rã, as trocas respiratórias também ocorrem intensamente pela pele (respiração cutânea), que deve ser delgada e bastante vascularizada.

A participação relativa da respiração pulmonar e da respiração cutânea na oxigenação do sangue de um anfíbio depende de fatores ambientais. Aumenta com a elevação da temperatura ambiente e da umidade relativa do ar.

Os répteis dependem exclusivamente da **respiração pulmonar**, com exceção dos quelônios, cuja cloaca ampla e vascularizada contribui na hematose. Os pulmões dos répteis são internamente segmentados, portanto maiores que os pulmões lisos dos anfíbios.

Os pulmões das aves não possuem alvéolos. São formados por milhões de parabronquíolos, túbulos atravessados por ar nos quais ocorrem as trocas gasosas.

Mamíferos possuem os pulmões divididos em milhões de alvéolos, o que representa um enorme aumento na área de trocas gasosas. Desde a bexiga natatória dos peixes até o pulmão alveolado de mamíferos, houve expansão da superfície e aumento na eficiência da hematose.

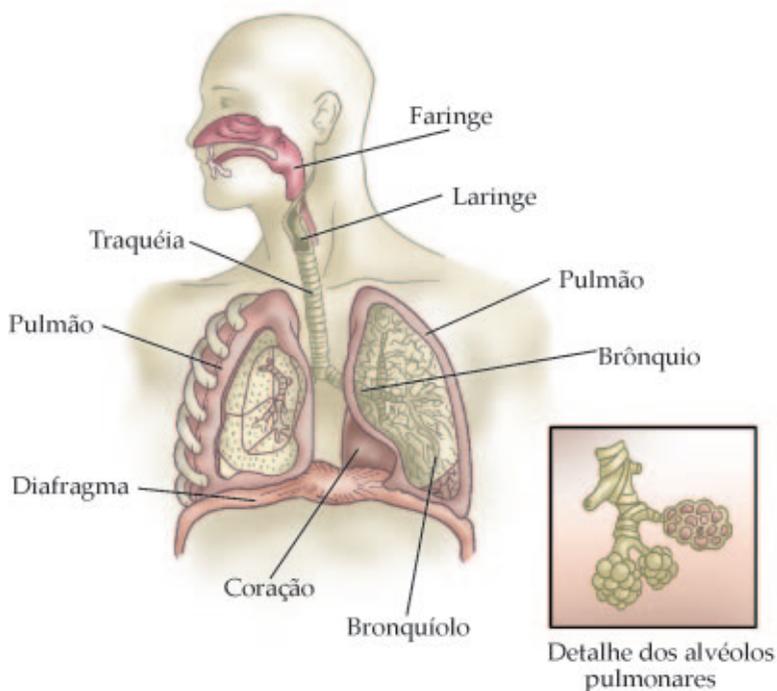
Os pulmões dos vertebrados podem se encher e esvaziar, renovando o ar do seu interior. São chamados **pulmões de ventilação**. Isso permite eliminar o ar saturado de  $\text{CO}_2$  e obter ar rico em  $\text{O}_2$ , o que os torna mais eficazes que os **pulmões de difusão**, dos gastrópodes terrestres.

As aves possuem, na extremidade inferior da traquéia, a **siringe**, dotada de membranas vibráteis que emitem sons. É o órgão do canto.

Na laringe humana estão as **cordas vocais**, órgãos emissores da voz.

### 4. Sistema Respiratório Humano

No ser humano, a inspiração e a expiração ocorrem pelas narinas. A cavidade nasal é revestida por uma mucosa altamente vascularizada e com cílios, filtrando, aquecendo e umidificando o ar que irá aos pulmões. Da cavidade nasal, o ar passa à faringe, e daí para a laringe. Na base da laringe, estão as cordas vocais, cujas vibrações, com a passagem do ar, geram o som empregado na fonação.



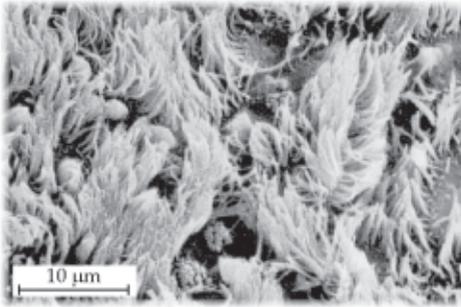
Sistema respiratório humano

Da laringe, o ar caminha para a traquéia, tubo com anéis cartilagosos, o qual se bifurca em dois brônquios.

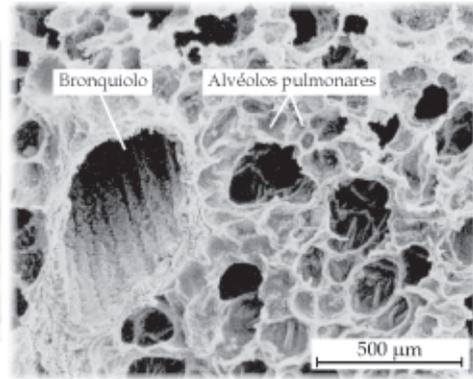
Os brônquios se ramificam em segmentos cada vez menos calibrosos, até sua passagem a bronquíolos.



Todo trato respiratório é revestido pelo epitélio mucociliar, produtor de muco, e cujos cílios, ao baterem, drenam partículas em suspensão que se aderiram ao muco.



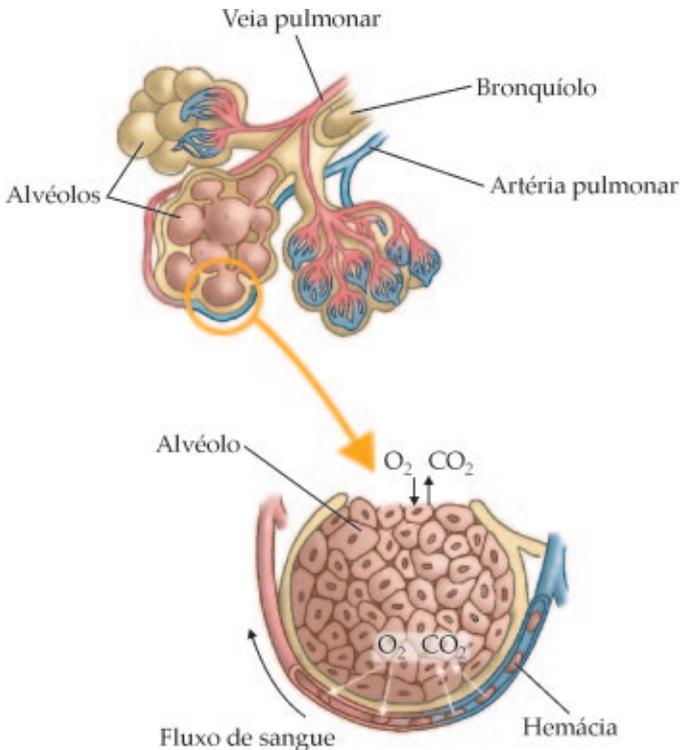
Epitélio ciliar da traquéia



Bronquíolos e alvéolos pulmonares

Os bronquíolos se abrem nos alvéolos, que se agrupam em cachos. Cada alvéolo tem 1 mm a 2 mm de diâmetro, e é circundado por capilares. É nos alvéolos que se dão as trocas gasosas (hematose).

O par de pulmões humanos possui cerca de 300 milhões de alvéolos, o que corresponde a uma superfície total de 70 metros quadrados, ou 40 vezes a superfície corporal.



Detalhes dos alvéolos pulmonares

### 4.1. Mecânica Ventilatória

A ventilação pulmonar (renovação do conteúdo aéreo dos pulmões) ocorre de diferentes maneiras.

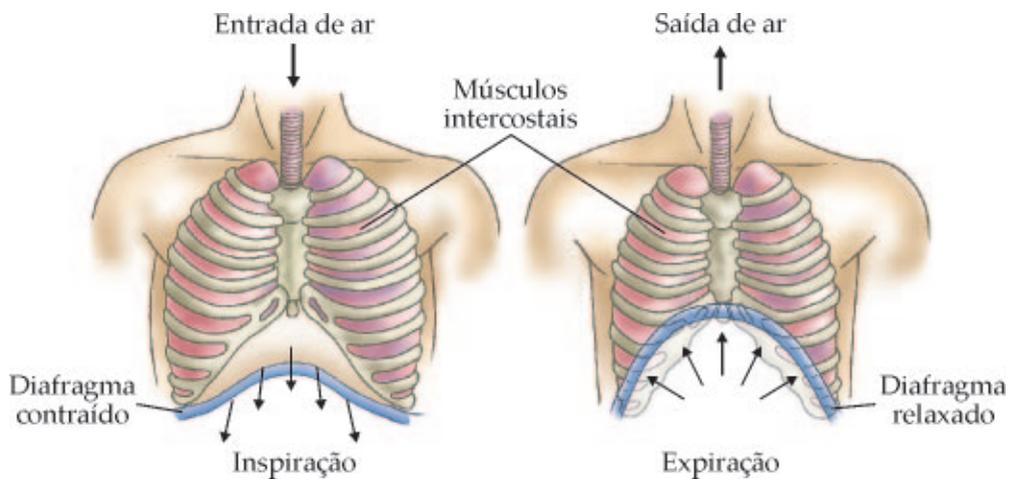
Nos anfíbios, o ar é **insuflado** para dentro dos pulmões, pela contração dos músculos da boca e da faringe, estando as narinas fechadas e a glote aberta.

Nos demais vertebrados pulmonados (répteis, aves e mamíferos), a inspiração (fase de enchimento dos pulmões) e a expiração (fase de esvaziamento) resultam de modificações no volume da cavidade torácica, produzidas pela contração dos músculos intercostais. Os mamíferos possuem um músculo chamado diafragma, que separa a cavidade torácica da abdominal.

A contração dos músculos intercostais eleva os arcos costais (as costelas), o que aumenta o diâmetro ântero-posterior da caixa torácica. Já o músculo diafragma, ao se contrair, desloca-se em direção ao abdome, provocando aumento do volume da cavidade torácica.

O aumento do volume da caixa torácica torna a pressão interna inferior à pressão atmosférica. O ar, então, entra nos pulmões e expande-os.

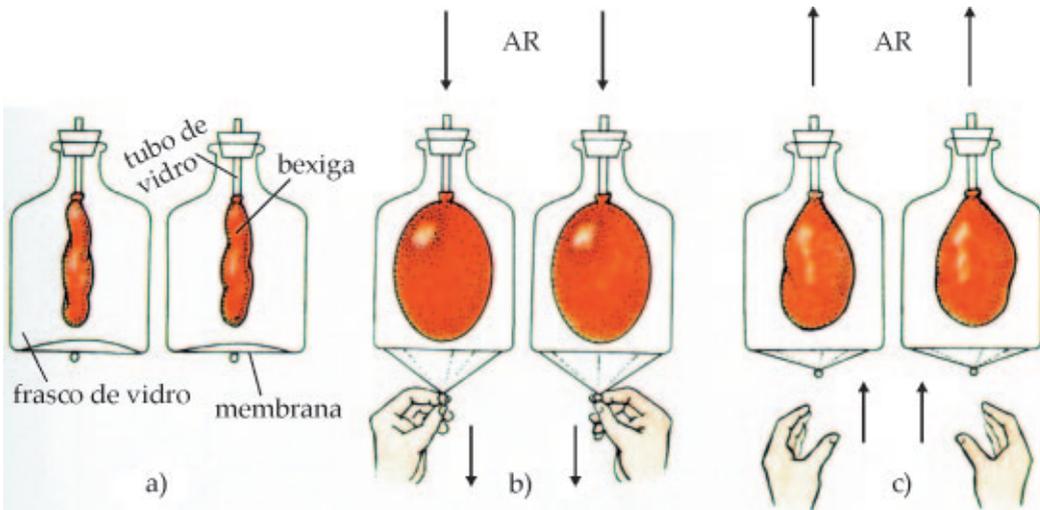
À medida que os músculos relaxam, os pulmões vão se esvaziando. Cada movimento respiratório corrente renova apenas 10 a 15 por cento do ar dos pulmões. Uma inspiração forçada pode elevar esse percentual para 80%.



O mecanismo da inspiração e expiração



O modelo a seguir, utilizando materiais como frasco de vidro, bexigas e tubos de vidro, simula a mecânica respiratória.



Modelo do sistema respiratório humano.

- a) Os frascos de vidro correspondem à caixa torácica, as bexigas correspondem aos pulmões, os tubos de vidro à traquéia e a membrana ao diafragma.
- b) Inspiração → Entrada de ar nos pulmões.
- c) Expiração → Saída de ar dos pulmões.

### 4.2. Controle da Respiração

A frequência e a amplitude da respiração são controladas por um grupo de neurônios localizados na base do encéfalo. Ao contrário do batimento cardíaco, a respiração pode estar sob controle voluntário, dentro de certos limites.

Esse grupo de neurônios está localizado no tronco encefálico, na porção conhecida por **bulbo**, e constitui o **centro respiratório**.

O centro respiratório recebe informações sobre a concentração de  $\text{CO}_2$  no sangue. Desse centro, são transmitidos sinais para nervos que se originam na medula espinhal e que controlam o diafragma e os músculos intercostais.

O centro respiratório responde, também, a estímulos vindos de outras partes do corpo. Células receptoras localizadas na artéria aorta e nas artérias carótidas enviam impulsos ao centro respiratório, quando a tensão de  $\text{O}_2$  no sangue diminui.

Se a concentração de  $\text{CO}_2$  no sangue aumenta, mesmo que ligeiramente, a frequência e a amplitude dos movimentos respiratórios se elevam. O mesmo ocorre com a queda da concentração de  $\text{O}_2$  ou do pH sanguíneo.

Em consequência desse delicado mecanismo de ajuste, cada célula do corpo tem garantida o fornecimento de  $\text{O}_2$  em quantidade adequada, bem como a remoção do  $\text{CO}_2$  produzido.

O quadro a seguir mostra como o pH do sangue e as concentrações de  $O_2$  e  $CO_2$  interferem no centro respiratório e conseqüentemente no ritmo respiratório.

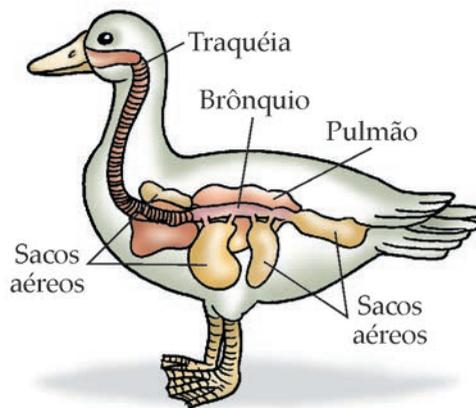
Parâmetro		Ação sobre o centro respiratório	Frequência e amplitude da respiração
concentração de $CO_2$	alta	excita	aumenta
	baixa	deprime	diminui
pH do plasma	acidose (pH < 7,36)	excita	aumenta
	alcalose (pH > 7,44)	deprime	diminui
concentração de $O_2$	alta	deprime	diminui
	baixa	excita	aumenta

## 5. Aves e Sacos Aéreos

Uma importante adaptação ao vôo, encontrada nas aves, são os **sacos aéreos**.

Trata-se de bolsas de ar que permitem que quase todo o ar do interior dos parabronquíolos seja renovado a cada movimento respiratório. Dessa forma, as aves garantem a presença, nos parabronquíolos, de ar sempre rico em  $O_2$ .

Os sacos aéreos servem, portanto, para aumentar a renovação do ar nos pulmões das aves. Não são órgãos de trocas gasosas.



Sistema respiratório de uma ave



# Capítulo 03. Circulação

## 1. Sangue

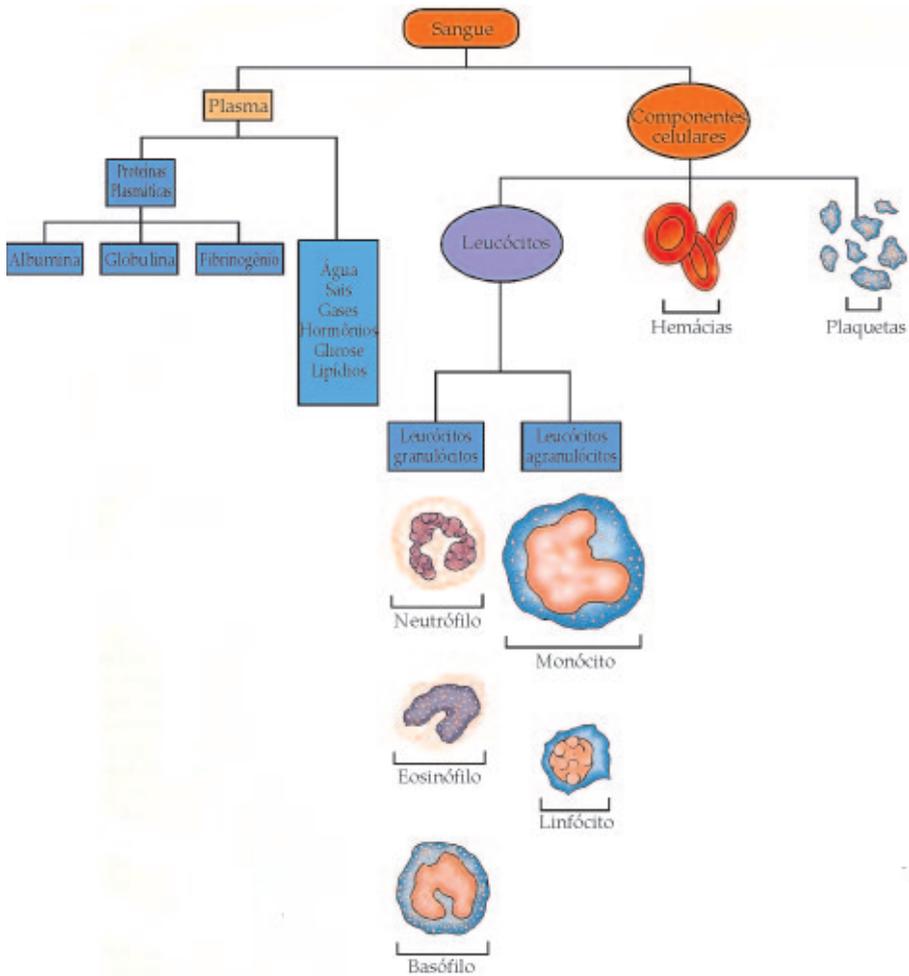
Cerca de 7% da massa corporal de uma pessoa corresponde ao sangue. Trata-se de um tecido líquido, de cor vermelha, que pode ser separado, por centrifugação, em duas fases: o sobrenadante, que corresponde a 55% do volume, é um líquido amarelado e hialino chamado **plasma sanguíneo**; os outros 45% são formados por um precipitado mais espesso e denso, constituído pelos **elementos figurados**.

O plasma sanguíneo é uma mistura formada principalmente por água e por numerosas substâncias, como proteínas, glicose, íons inorgânicos ( $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  e  $\text{HCO}_3^-$ ), aminoácidos, hormônios, resíduos metabólicos etc.

Os elementos figurados do sangue de um mamífero são: os **glóbulos vermelhos**, os **glóbulos brancos** e as **plaquetas**.



Componentes	Porcentagem	Função
1. Água	91%–92%	Solvente
2. Proteínas (albumina, globulina, fibrinogênio...)	7%–8%	Defesa, coagulação, controle do volume celular etc.
3. Íons, açúcar, lipídios, aminoácidos, hormônios, vitaminas, gases.	1%–2%	Controle da pressão osmótica, pH sanguíneo etc.
Componentes	Número por $\text{mm}^3$	Função
1. Glóbulos vermelhos	4.800 000–5.400 000	Transporte de $\text{O}_2$ e $\text{CO}_2$
2. Leucócitos Neutrófilos Linfócitos Monócitos Eosinófilos Basófilos	3.000–6.750 1.000–2.700 150–720 100–360 25–90	Defesa imunológica
3. Plaquetas	250.000–400.000	Coagulação



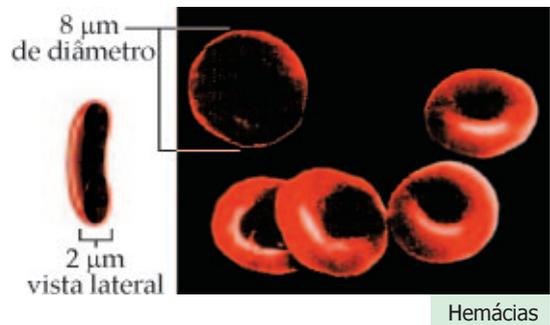
Os componentes do sangue

## 1.1. Elementos Figurados do Sangue

### I. Glóbulos Vermelhos ou Eritrócitos

Também conhecidos por hemácias, são células anucleadas, com formato de um disco bicôncavo. Estão presentes em todos os vertebrados, mas apenas nos mamíferos são anucleados.

São geradas na medula óssea vermelha no tecido hematopoético, em um processo conhecido por hematopoese, de onde saem e permanecem na circulação por cerca de 90 a 120 dias.



Hemácias



Depois de seu período em circulação, os glóbulos vermelhos envelhecem e entram em degeneração, sendo reconhecidos e destruídos por células fagocitárias presentes em diversas partes do corpo, principalmente no baço.

Esse órgão é um importante local de reconhecimento de partículas estranhas presentes na circulação. Ao passarem por ele, bactérias e outros agentes infecciosos, assim como células velhas do próprio sangue, são fagocitados e destruídos. Apesar disso, a ausência do baço não é incompatível com a vida.

Em casos de acidente em que ocorre laceração do órgão, é realizada a sua retirada cirúrgica, para estancar hemorragias internas graves. Entretanto, as pessoas que passam por essa cirurgia podem viver normalmente, uma vez que as células fagocitárias de outros locais do corpo, como as do fígado, dos gânglios linfáticos e da medula óssea, assumem o papel de remoção de partículas estranhas, inclusive de glóbulos vermelhos velhos.

Os glóbulos vermelhos têm todo seu citoplasma ocupado pela hemoglobina, um pigmento respiratório, ou seja, molécula responsável pelo transporte do oxigênio. Trata-se de uma proteína de estrutura complexa, formada por quatro cadeias de polipeptídeos unidas a quatro grupos heme. Nesses grupos, existem íons de ferro na sua forma  $Fe^{++}$  (íon ferroso). Alguns invertebrados, como a minhoca, também possuem hemoglobina; porém, nesses animais, o pigmento respiratório encontra-se dissolvido no plasma, e não no interior de células.

Em uma pessoa normal, a quantidade de glóbulos vermelhos oscila ao redor de 5 milhões de células por milímetro cúbico de sangue, o que corresponde a uma concentração de hemoglobina entre 12 a 16 gramas por 100 ml de sangue.

Caso a contagem de glóbulos vermelhos e a concentração de hemoglobina estejam abaixo desses valores, a pessoa é portadora de anemia. Habitualmente, conceitua-se anemia como a situação em que a concentração de hemoglobina é inferior a 11 g/ 100 ml.

Existem situações que levam a alterações no número de glóbulos vermelhos no organismo como, por exemplo, quando um indivíduo fica exposto à atmosfera rarefeita, isto é, com baixa concentração de oxigênio. O organismo reage, produzindo mais glóbulos vermelhos, aumentando assim a capacidade do organismo em captar oxigênio do ar.

Essa conhecida resposta fisiológica do organismo é a razão pela qual atletas que irão participar de competições em locais de grande altitude, viajam semanas antes para essas localidades para adaptação do organismo, que reage à atmosfera rarefeita, produzindo mais glóbulos vermelhos.

## II. Glóbulos Brancos

Também chamados leucócitos, são os mais importantes componentes da defesa contra infecções. São gerados na medula óssea, embora muitos deles passem por um período de maturação em outros locais do corpo, como no timo ou nos gânglios linfáticos.

A quantidade normal de leucócitos circulantes varia entre 4.000 e 11.000 por milímetro cúbico de sangue. As infecções bacterianas geralmente são acompanhadas por significativos aumentos na contagem de leucócitos (leucocitose), enquanto as infecções virais geralmente causam diminuição nessa quantidade (leucopenia).

Há algumas formas de câncer que afetam as células das linhagens produtoras de leucócitos, conhecidos como leucemias.

No sangue circulante, encontram-se cinco tipos de leucócitos.

Neutrófilos e linfócitos normalmente são os tipos existentes em maior quantidade e perfazem cerca de 90% do total de leucócitos do sangue. Neutrófilos, basófilos e eosinófilos possuem grânulos no citoplasma, o que lhes dá a designação de granulócitos; linfócitos e monócitos são agranulócitos, pois não têm grânulos citoplasmáticos.

### III. Plaquetas ou Trombócitos

Na medula óssea, existem células precursoras chamadas megacariócitos que, ao tornarem-se maduras, rompem-se e liberam fragmentos citoplasmáticos na circulação.

Tais fragmentos são as plaquetas ou trombócitos, componentes fundamentais do processo de coagulação e exclusivas dos mamíferos. Portanto, plaquetas não são células, são fragmentos celulares.

Em um adulto normal, a contagem de plaquetas, no sangue, é bastante variável.

Geralmente, considera-se normal uma quantidade entre 250.000 e 400.000 por milímetro cúbico de sangue.

### 1.2. Coagulação Sangüínea

As **plaquetas** são exclusivas dos mamíferos. Têm importante função na obstrução de falhas nos vasos sangüíneos e na formação do coágulo.

Chamamos de **hemostasia** o conjunto de processos envolvidos na interrupção de um sangramento, dos quais a **coagulação** é um dos componentes.

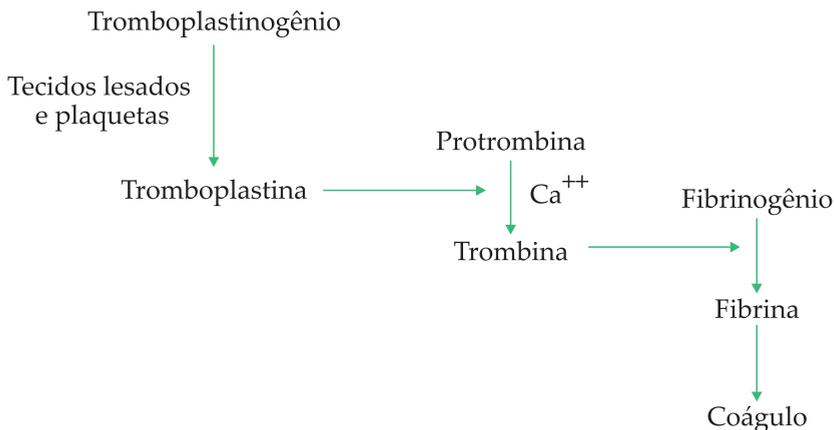
Quando um vaso tem sua parede lesada,

a região situada antes da lesão sofre vasoconstricção, diminuindo o fluxo sangüíneo e, conseqüentemente, a perda de sangue. Como as artérias têm mais músculo liso em suas paredes que as veias, nelas esse mecanismo é mais eficiente. Logicamente, esse só é efetivo em vasos de calibre relativamente pequeno.

A coagulação do sangue é um fenômeno complexo. A seqüência de eventos se inicia quando as plaquetas entram em contato com uma superfície irregular, como vasos sangüíneos ou tecidos lesados. Imediatamente, ligam-se à borda da lesão (adesão) e umas às outras (agregação), o que enseja a formação de uma rolha de plaquetas, o **trombo branco**.

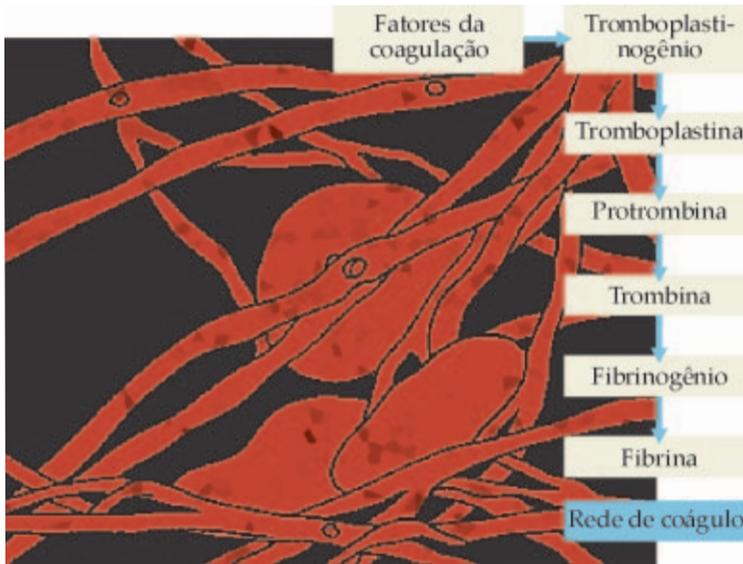
Isso estimula a liberação de tromboplastina que, na presença de cálcio, age na conversão da protrombina em sua forma ativa, a trombina.

A trombina converte o fibrinogênio, proteína plasmática solúvel, em fibrina. As moléculas de fibrina agregam-se em rede, na qual ficam retidas hemácias e plaquetas, e formam o coágulo.





À rede de fibrina então formada, prendem-se hemácias, o que confere coloração vermelha ao coágulo, ou **trombo vermelho**.



As substâncias que atuam na coagulação, os **fatores da coagulação**, são, via de regra, produzidas no fígado, em processo dependente da vitamina K.

Células do fígado e do pulmão produzem **heparina**, que impede a formação da trombina e bloqueia a coagulação.

A **hemofilia** é uma doença hereditária que afeta a coagulação do sangue. O tipo mais comum consiste na deficiência do fator VIII, implicado na produção da protrombina. Os hemofílicos podem ser tratados pela administração do fator VIII, obtido de sangue normal.

## 2. Sistema Circulatório

### 2.1. Circulação Comparada

O metabolismo celular consome oxigênio e nutrientes e produz gás carbônico e outros resíduos. Em animais pequenos, as necessidades de cada célula são atendidas por trocas que se realizam diretamente entre elas e o ambiente, por difusão. Em animais maiores, como o homem, essas necessidades são supridas por um sistema circulatório, através do qual flui o sangue, meio líquido de trans-

porte das substâncias citadas acima, bem como de hormônios, anticorpos, fatores de coagulação etc.

Os poríferos, os celenterados, os platelmintos e os nematelmintos não possuem sistema circulatório.

Os artrópodes, a maioria dos moluscos e os protocordados possuem um tipo de circulação em que o sangue, em algumas regiões do corpo, circula fora de tubos. Essas regiões são conhecidas por **hemocelos** ou **lacunas**, sendo esse tipo de sistema circulatório chamado **aberto** ou **lacunar**. Nas hemocelos, onde ocorrem as trocas entre o sangue e as células, a pressão é baixa e o fluxo é lento.

Nos animais de circulação aberta, o sangue apresenta nítido predomínio de sua parte líquida (o plasma), com poucas células dispersas. Recebe o nome de **hemolinfa**.

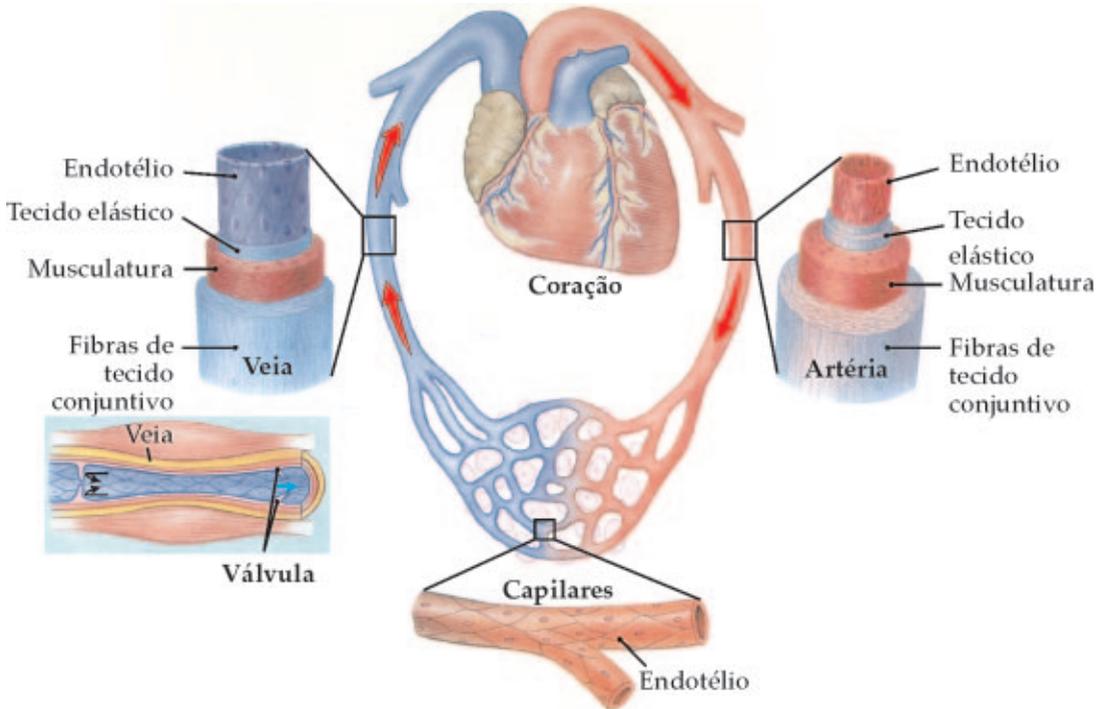
Nos anelídeos, nos moluscos cefalópodes e nos vertebrados, o sangue flui exclusivamente dentro de vasos. Um sistema assim é chamado **fechado**. Trata-se de um sistema de alta pressão e fluxo rápido.

Nos equinodermos, a distribuição de substâncias se faz através do líquido celomático.

### 2.2. Componentes da Circulação Fechada

O sistema circulatório fechado é constituído por três componentes:

- **Sangue:** constitui o meio líquido circulante.
- **Coração:** órgão muscular que, contraindo-se, impulsiona o sangue pelo sistema de tubos. Pode ser único, como o humano, ou múltiplo, como os dos anelídeos.
- **Vasos sanguíneos:** tubos nos quais o sangue flui. São de três tipos: artérias, veias e capilares.



#### I. Artérias

Vasos que conduzem o sangue do coração para os diversos órgãos. Possuem parede espessa, rica em fibras musculares lisas e fibras elásticas. Por elas, o sangue flui sob alta pressão.

#### II. Veias

Por esses vasos, o sangue retorna ao coração. Possuem parede menos espessa que as artérias e, em seu interior, existem válvulas que impedem o refluxo do sangue.

O fluxo de sangue pelas veias ocorre sob pressão baixa. Isso representa um problema, pois o retorno do sangue ao coração muitas vezes acontece contra a gravidade. A volta

do sangue da periferia do corpo até o coração é chamada **retorno venoso**.

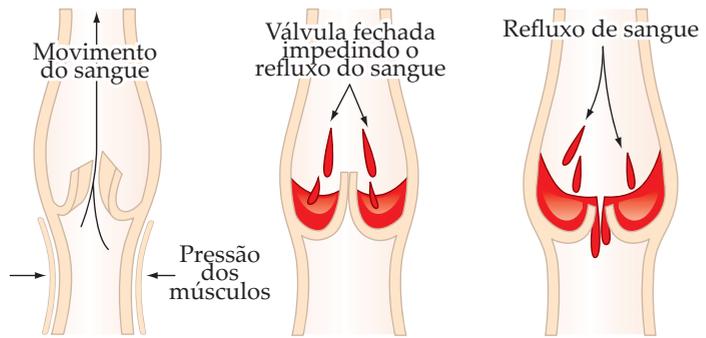
Imagine, por exemplo, a volta do sangue das pernas ao coração, em uma pessoa mantida em pé. Há uma grande coluna líquida de mais de um metro de extensão, que deve ser vencida para que o sangue retorne ao coração.

O retorno venoso só é possível em função de alguns fatores, tais como:

- a presença de válvulas, no interior das veias, que impedem o refluxo do sangue;
- a contração dos músculos das pernas, que comprimem as veias e auxiliam a subida do sangue, comportando-se como um "contração periférico".



Em pessoas que permanecem muito tempo em pé, principalmente sem muita movimentação (dentistas, professores, caixas de bancos etc.), a pressão hidrostática contrária ao retorno venoso é elevada e o auxílio da musculatura é reduzido. Em função disso, o retorno venoso é lento, as veias tendem a se tornar engurgitadas, formando dilatações tortuosas chamadas varizes. Nas mulheres, isso é acentuado por fatores hormonais e pelas gestações, quando o útero aumentado constitui um agente adicional de dificuldade ao retorno venoso das pernas, por comprimir a veia cava inferior.



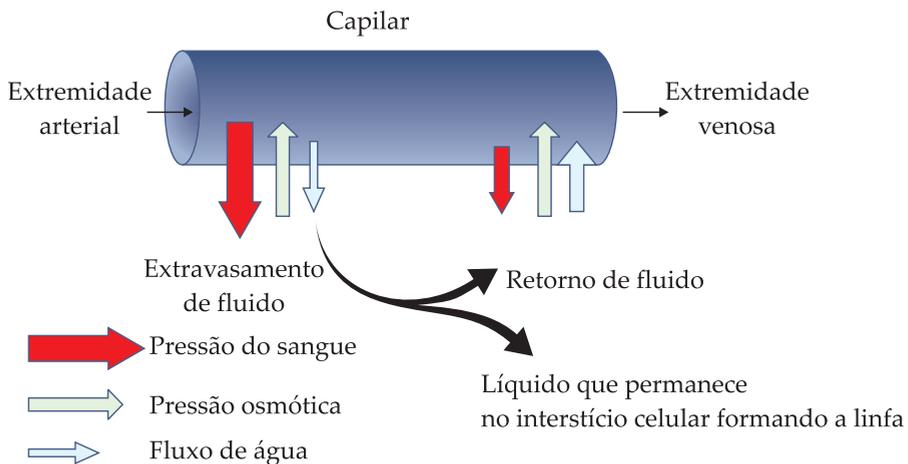
O emprego de meias elásticas pode atenuar o problema ou mesmo evitar que ele ocorra. A compressão das veias superficiais das pernas obriga o sangue a retomar pelas veias profundas, mais sujeitas à ação facilitadora dos músculos das pernas, que também funcionam como agentes de contenção. As veias superficiais, ao contrário, não contam com esses fatores e são as mais sujeitas às varizes.

### III. Capilares

Impõem-se entre as artérias e as veias. Possuem parede muito delgada, através da qual ocorrem as trocas entre o sangue e os tecidos.

A parede dos capilares consiste em uma única camada de células. Durante a passagem do sangue pelos capilares, gases e outras substâncias são trocadas entre o sangue e as células adjacentes.

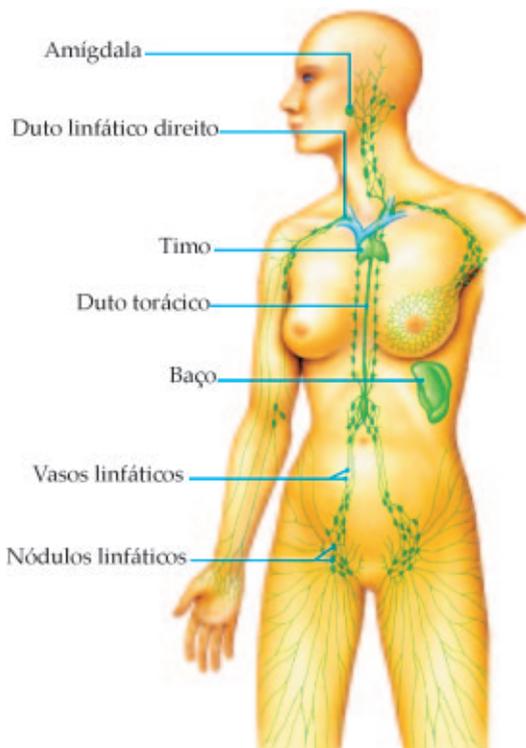
Na extremidade arterial dos capilares, a pressão hidrostática do sangue é maior do que a pressão osmótica dele. Isto provoca o extravasamento de fluido contendo nutrientes, sais, gases etc. Na extremidade venosa, a pressão hidrostática é reduzida, tornando-se menor que a pressão osmótica, com retorno do fluido para o interior do capilar. Conseqüentemente, há pouca perda de fluido do sangue durante a passagem pelos capilares.



A passagem do sangue pelos capilares e as trocas de substâncias com o líquido intersticial.

### 3. Sistema Linfático

Nos vertebrados, cerca de 1 a 2 por cento do fluido filtrado para fora dos capilares não retorna pelas vênulas, sendo recolhido pelos vasos linfáticos que o levam de volta à circulação sanguínea, através do duto torácico. Esse fluido é chamado **linfa** e serve, também, para recolher alguns nutrientes absorvidos no intestino, particularmente as gorduras.



Ao percorrer os vasos linfáticos, a linfa passa através de gânglios ou nódulos linfáticos. Eles têm duas funções: remover partículas estranhas da linfa, impedindo que cheguem à circulação, e produzir células implicadas na síntese de anticorpos. Os nódulos possuem neutrófilos, que atacam bactérias recolhidas pela linfa.

O baço é um outro órgão linfático. Fabrica linfócitos e remove hemácias da circulação.

Embora muito importante, a remoção do baço é compatível com a vida, uma vez que suas funções podem ser desempenhadas por outros órgãos linfáticos.

O timo é um órgão situado no tórax, atrás do esterno. É local de produção dos linfócitos T, que saem daí para colonizar o sangue, os gânglios linfáticos e a medula óssea.

As amígdalas e as adenóides também são órgãos linfáticos relacionados, primariamente, com a produção de linfócitos.

### 4. Circulação nos Vertebrados

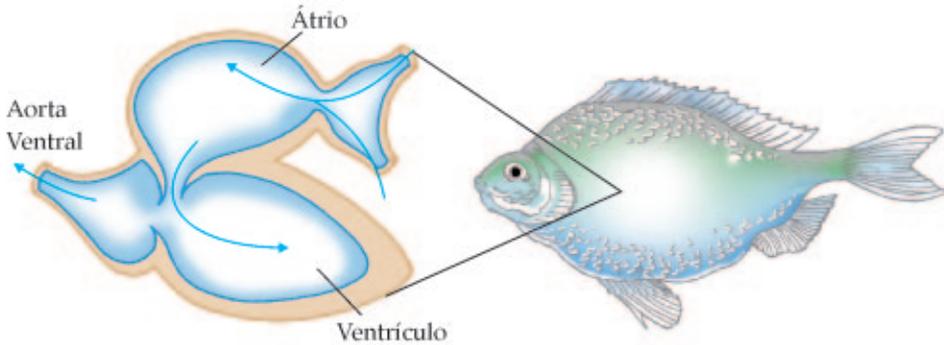
#### 4.1. Peixes

Nos peixes, o sangue que entra no coração, proveniente das veias, é pobre em oxigênio e rico em dióxido de carbono, isto é, sangue venoso.

O coração dos peixes possui duas câmaras ou cavidades. A primeira é o **átrio** ou **aurícula**, câmara receptora do sangue vindo das veias. Do átrio, passa para o **ventrículo**, também único, cuja parede muscular vigorosa bombeia-o, através da **aorta ventral**, para os arcos aórticos, que originam os capilares das brânquias. À medida que flui pelas brânquias, o sangue realiza trocas gasosas com a água, recolhendo dela o oxigênio e perdendo dióxido de carbono, tornando-se **sangue arterial**. Recolhido pela **aorta dorsal**, o sangue será distribuído, através de vários ramos, para todas as partes do corpo.

Na passagem pelos capilares das brânquias, há dissipação de pressão, o que faz com que o fluxo de sangue pelo corpo seja relativamente lento.

A circulação dos peixes possui apenas um circuito (coração → brânquias → tecidos do corpo → coração), e em nenhum local ocorre mistura de sangue arterial e venoso. Assim, esse padrão é conhecido como circulação **simples e completa**.



Coração de peixe

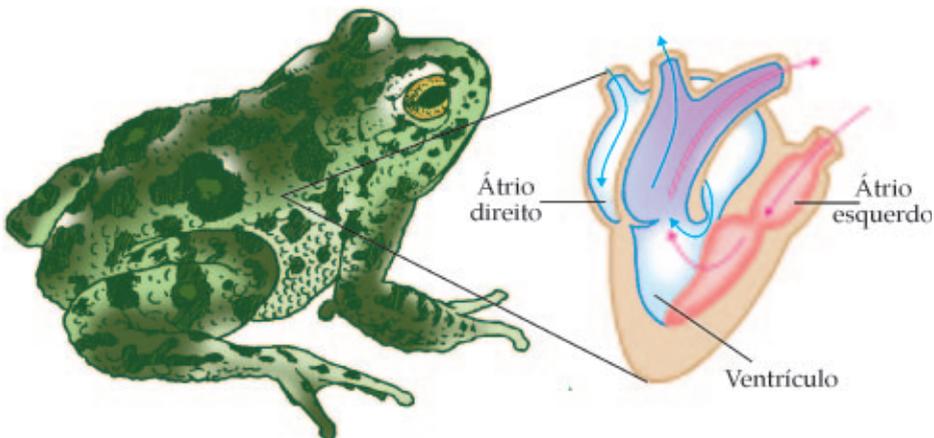
### 4.2. Anfíbios

Simultaneamente ao desaparecimento das brânquias e ao surgimento dos pulmões, ocorreram várias modificações no coração e nos vasos sanguíneos dos anfíbios.

O coração dos anfíbios possui dois átrios, um que recebe o sangue arterial dos pulmões e outro que recebe o sangue venoso vindo dos tecidos corporais. Os dois átrios desembocam em um único ventrículo, onde o sangue misturado é bombeado pelos troncos arteriais simultaneamente para os pulmões e para o restante do corpo.

Diferente daquilo que, à primeira vista, pode parecer, a mistura de sangue no ventrículo não é tão danosa, por dois motivos: primeiro, o sangue que vem do corpo é parcialmente oxigenado ao passar pela pele (respiração cutânea) e, em segundo lugar, fatores hidrodinâmicos fazem com que a mistura, no ventrículo, seja apenas parcial.

Na circulação dos anfíbios existem dois circuitos (coração → pulmão → coração e coração → tecidos do corpo → coração), e, no ventrículo único, misturam-se sangue arterial e venoso: circulação **dupla e incompleta**.



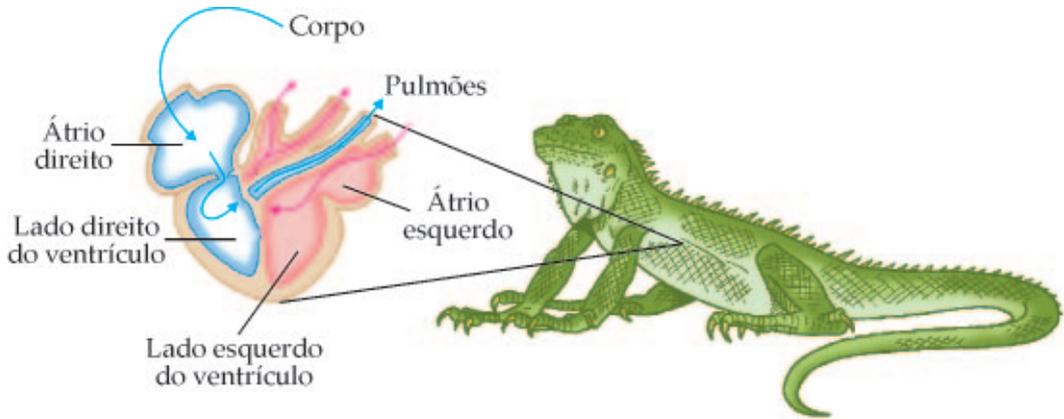
Coração de anfíbio

### 4.3. Répteis

A circulação dos répteis em muito se assemelha à circulação dos anfíbios, a não ser pelo fato de o ventrículo ser parcialmente dividido pelo **Septo de Sabatier**. Ainda assim, nessa cavidade ocorre mistura de sangue arterial e venoso.

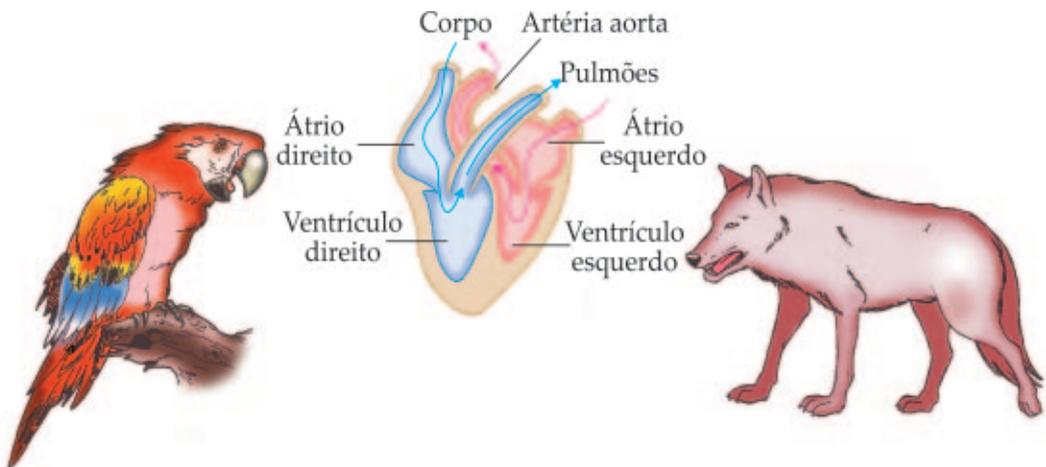
A exceção fica por conta dos répteis crocodilianos, cujo coração é dividido em quatro câmaras: dois átrios e dois ventrículos. Todavia, a mistura de sangue ainda ocorre em uma comunicação existente entre as artérias aorta e pulmonar: o forame de Panizza.

Ainda nos répteis, a circulação é **dupla e incompleta**.



Coração de réptil

### 4.4. Aves e Mamíferos



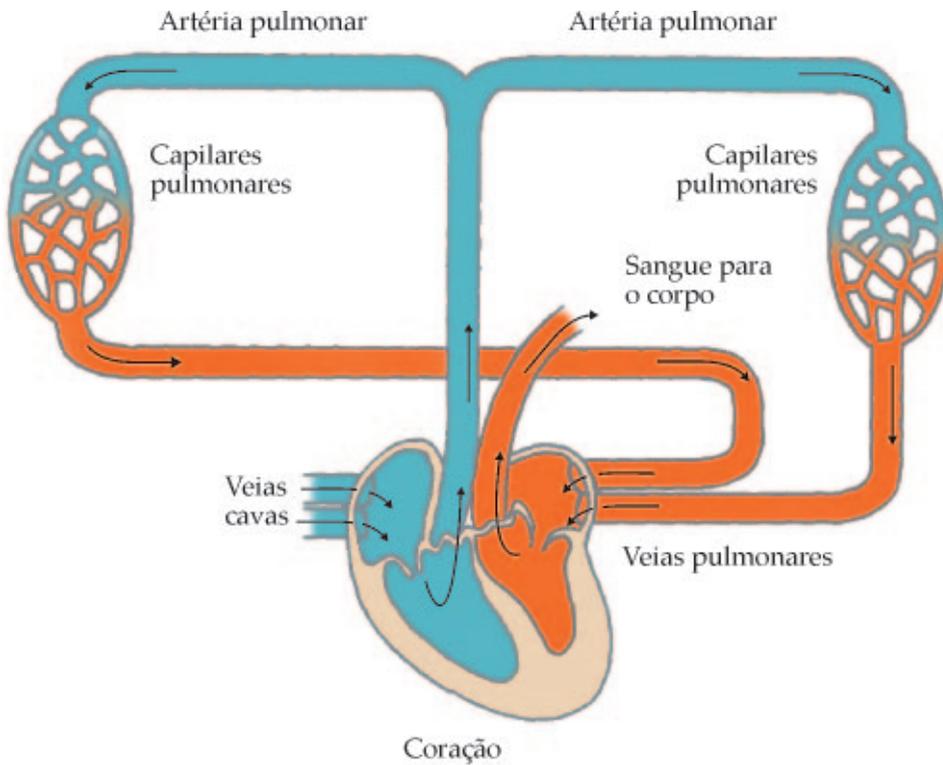
Coração de aves e mamíferos

Nas aves e nos mamíferos, encontramos dois átrios e dois ventrículos. O "coração direito", formado pelo átrio e pelo ventrículo direitos, recebe o sangue venoso vindo dos tecidos corporais e o bombeia para os pulmões. Dos pulmões, o sangue arterial retorna para o átrio sendo bombeado a plena pressão em direção da circulação sistêmica. Trata-se de uma circulação **dupla e completa**.



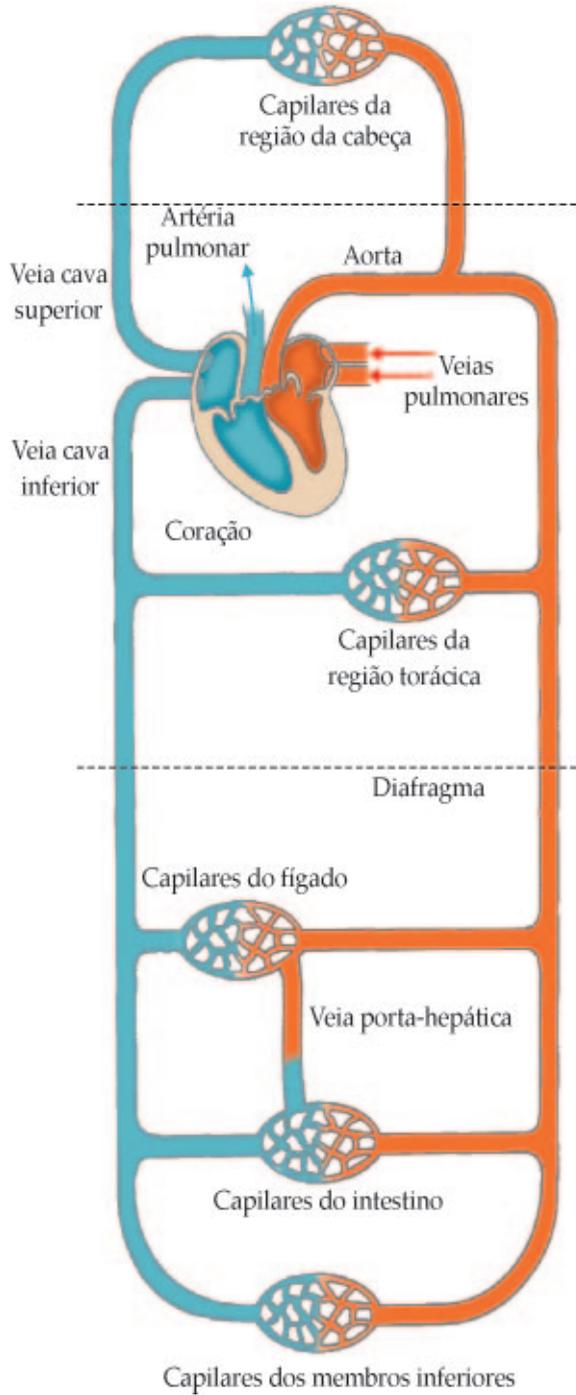
No coração os mamíferos a artéria aorta está voltada para a esquerda e nas aves está voltada para a direita.

O esquema a seguir representa a pequena circulação ou circulação pulmonar.



Pequena circulação ou circulação pulmonar

O esquema a seguir representa a grande circulação ou circulação sistêmica.



Grande circulação ou circulação sistêmica



## 5. Coração Humano

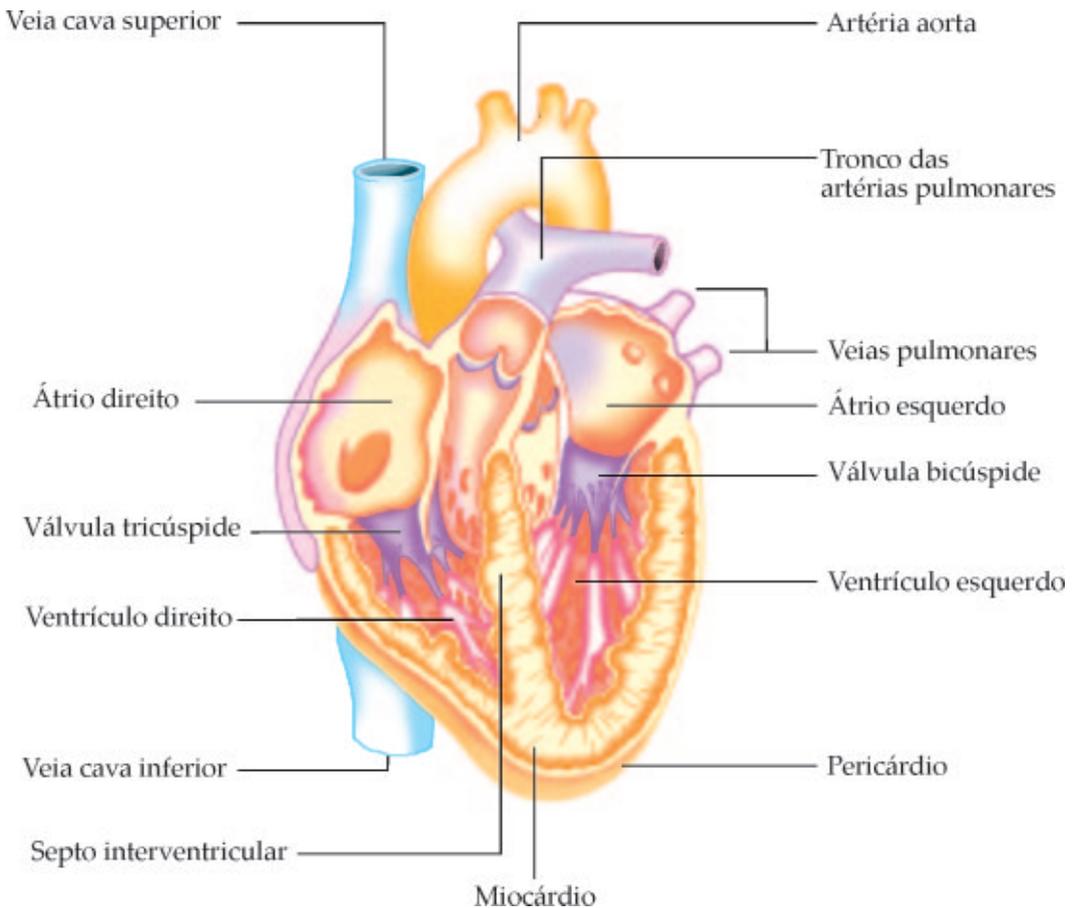
A irrigação dos tecidos sob alta pressão e sem mistura oferece às células rico suprimento de oxigênio, o que se relaciona com a manutenção de elevada taxa metabólica, homeotermia e grau elevado de atividade física e mental.

É curioso notar que, pelas câmaras direitas do coração, passa sangue desoxigenado.

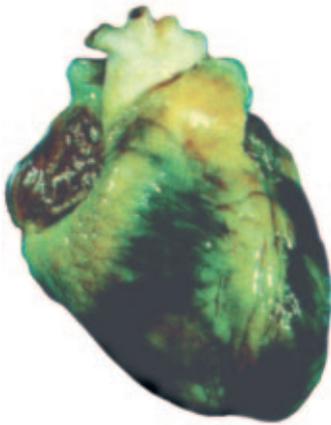
A oxigenação do músculo cardíaco é mantida não pelo sangue que flui em seu interior, mas sim pelas artérias coronárias, que são ramificações da artéria aorta, portanto, com sangue oxigenado.

Entre as câmaras cardíacas, existem válvulas que permitem a passagem do sangue apenas em um sentido.

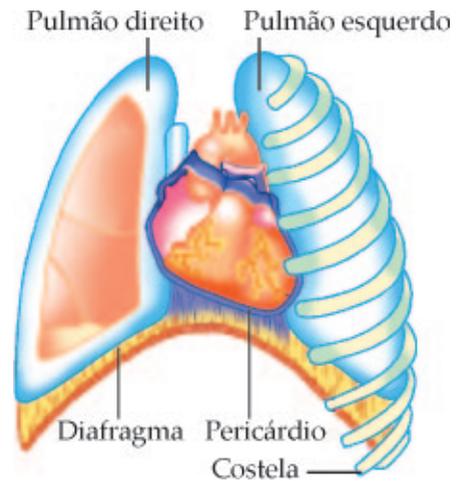
A válvula do lado esquerdo do coração é chamada mitral ou bicúspide. Do lado direito, está a válvula tricúspide, conforme pode ser observado no esquema a seguir.



A organização do coração humano



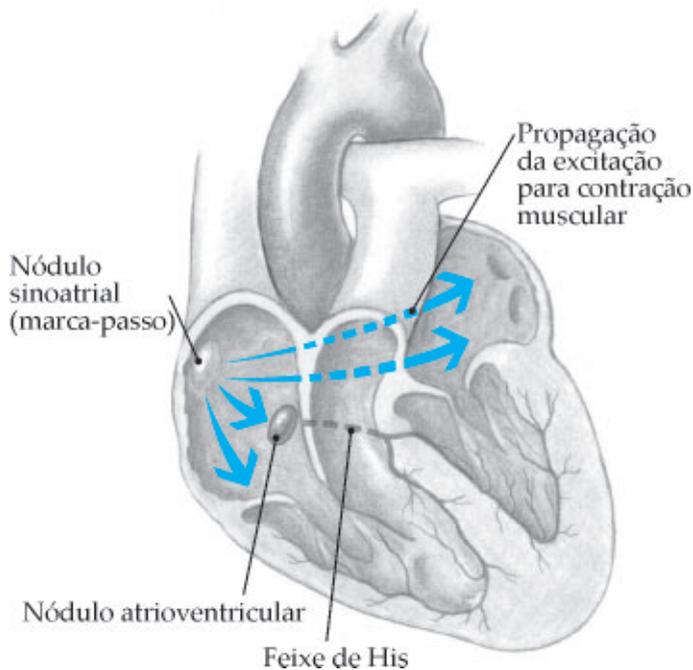
Coração humano



A localização do coração

O estímulo para a contração do músculo cardíaco origina-se no próprio coração.

O nódulo sino-atrial gera impulsos elétricos periódicos, que provocam a contração do miocárdio. A frequência de geração é aumentada pelo sistema nervoso simpático e pela adrenalina, e é diminuída pelo sistema parassimpático.



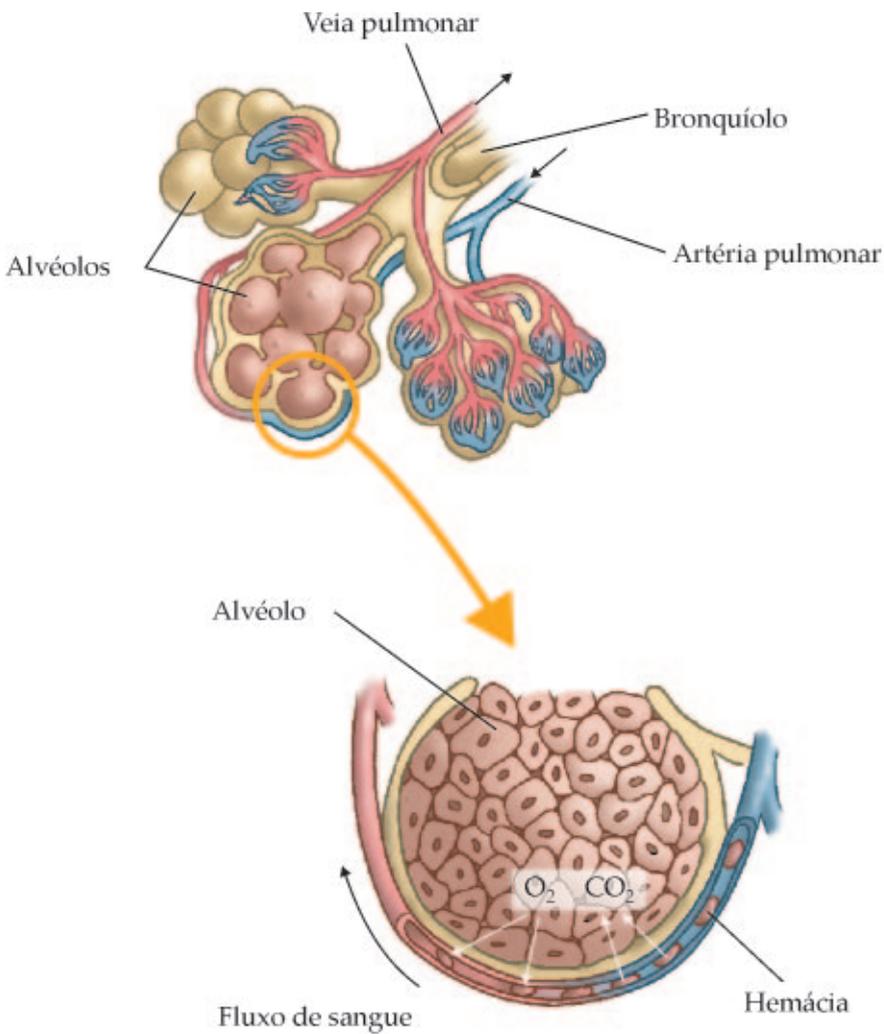
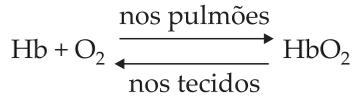
- **Sístole:** contração do miocárdio
- **Diástole:** relaxamento do miocárdio



## 6. Transporte de Gases nos Mamíferos

Quando as hemácias alcançam os pulmões, o oxigênio do ar alveolar difunde-se para o interior dos capilares. Cada molécula de hemoglobina (Hb) combina-se com quatro moléculas de oxigênio, formando a oxiemoglobina (HbO<sub>2</sub>).

À medida que a oxiemoglobina segue pela corrente sanguínea, o oxigênio vai sendo cedido aos tecidos.



As trocas gasosas (hematose) nos alvéolos pulmonares

Em grandes altitudes, como a pressão parcial de oxigênio atmosférico é baixa, ocorre um aumento na quantidade de hemoglobina circulante, como mecanismo compensatório.

O monóxido de carbono (CO) liga-se intensamente à hemoglobina, com uma afinidade 210 vezes maior do que esta se liga ao oxigênio. Caso o ar inspirado contenha grande quantidade de CO, este irá competir com o oxigênio pelos locais de ligação na hemoglobina, dificultando o transporte do oxigênio dos pulmões para os tecidos.

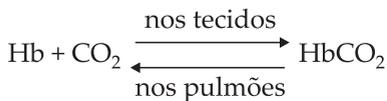
A ligação do CO (monóxido de carbono) com a hemoglobina forma o composto estável **carboxiemoglobina** (HbCO).



O aumento da concentração do monóxido de carbono numa atmosfera fechada, como o interior de carros, garagens de prédios ou túneis de estrada, pode trazer prejuízos ao mecanismo de transporte do O<sub>2</sub> para as células e conseqüentemente a asfixia, e até a morte do indivíduo intoxicado por CO.

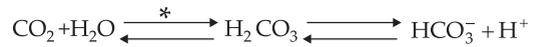
O transporte do gás carbônico (CO<sub>2</sub>) dos tecidos para os pulmões segue outros mecanismos. Pequena parte do CO<sub>2</sub> é transportada pela hemoglobina.

A ligação do CO<sub>2</sub> à hemoglobina forma um composto denominado **carboemoglobina** conforme o esquema a seguir.



Os compostos oxiemoglobina e carboemoglobina são menos estáveis, o que torna possível a ligação e o desligamento contínuo destes gases ao pigmento respiratório hemoglobina.

Parte menor do CO<sub>2</sub> encontra-se dissolvida no plasma. A maior parte é transportada como bicarbonato, no plasma. O bicarbonato é produzido em duas etapas. Primeiro, o gás carbônico combina-se com a água. Esta reação é catalisada pela enzima **anidrase carbônica** e forma ácido carbônico. Este é um ácido fraco, que se dissocia e produz íons bicarbonato e H<sup>+</sup>.



\* Enzima anidrase carbônica

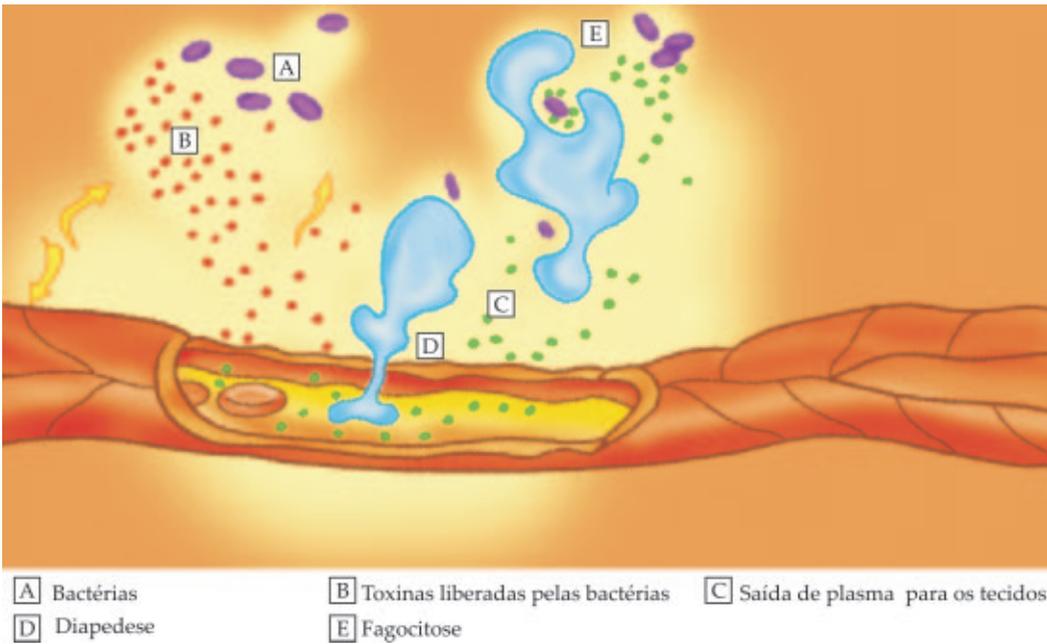
Esse mecanismo de formação de íons bicarbonato a partir do CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O funciona como um sistema “tampão” evitando variações bruscas do pH sanguíneo, cujo valor é mantido ao redor 7,4.

Nos mamíferos placentários, o feto possui **hemoglobina F**, com maior afinidade pelo oxigênio do que a **hemoglobina A**, presente no adulto. Sendo assim, o sangue fetal consegue tirar oxigênio do sangue materno que chega à placenta. Após o nascimento, a hemoglobina F é gradualmente substituída pela hemoglobina A.

## 7. Mecanismos de Defesa

### 7.1. Sistema Imunológico

Vírus, bactérias e outros microorganismos podem penetrar no corpo por descontinuidades da pele, pelo revestimento das vias aéreas ou das vias digestórias. Ao atingirem determinada região, o tecido lesado libera substâncias que provocam distensão dos capilares, cuja permeabilidade aumenta. Leucócitos atravessam a parede dos capilares e acumulam-se no local da lesão.



O sistema imunológico na defesa do organismo

Há dois tipos principais de leucócitos: os **neutrófilos**, muito ativos na fagocitose, representam de 60 a 70 por cento do total; e os **linfócitos**, de 20 a 30 por cento. Há dois tipos de linfócitos: os T e os B.

Os leucócitos têm locomoção ativa. São capazes de migrar através da parede dos capilares em direção ao tecido infectado, o que se designa por **diapedese**. São atraídos, provavelmente, por substâncias químicas que se difundem a partir do tecido lesado.

Os neutrófilos, primeiros a chegar, englobam o invasor por fagocitose. A seguir, chegam os linfócitos. Pode haver um acúmulo de pus, constituído por bactérias e leucócitos mortos e restos de tecido. A temperatura local se eleva, o que dificulta a multiplicação de microrganismos e aumenta a mobilidade dos neutrófilos.

Caso essa resposta seja insuficiente, o segundo mecanismo de defesa entra em ati-

vidade – o sistema de imunidade. A resposta imune é altamente específica, envolvendo o reconhecimento de um invasor em particular e o desencadeamento de um ataque contra ele.

O encontro de um linfócito B imaturo com uma substância estranha faz com que aquela célula se transforme em um **plasmócito**, célula com grande capacidade de produção de **anticorpos**. Os anticorpos são proteínas especiais que se ligam a substâncias estranhas – os **antígenos**, e as inativam.

Os anticorpos podem agir basicamente de três maneiras:

- aderindo-se à partícula estranha, facilitando sua fagocitose pelos neutrófilos;
- interferindo com alguma atividade vital do invasor, como, por exemplo, impedindo que se ligue à membrana celular do hospedeiro;
- podem, por si mesmos, destruir a célula invasora.



Neutrófilo realizando fagocitose

Após a primeira infecção, permanecem indefinidamente no sangue células sensibilizadas ao antígeno, prontas para iniciar contra ele imediata produção de anticorpos. São as **células de memória imunológica**.

Algumas doenças conferem imunidade permanente, como o sarampo, a caxumba e a catapora.

A coordenação de toda a resposta imune é de responsabilidade das **linfocinas**, substâncias produzidas pelos linfócitos T.

Grande quantidade de linfócitos acumulam-se em órgãos estrategicamente localizados. As amígdalas e as adenóides estão na entrada das vias digestórias e vias aéreas, respectivamente. Essas regiões são "porta de entrada" de agentes infecciosos, o que explica a existência de órgãos de defesa.

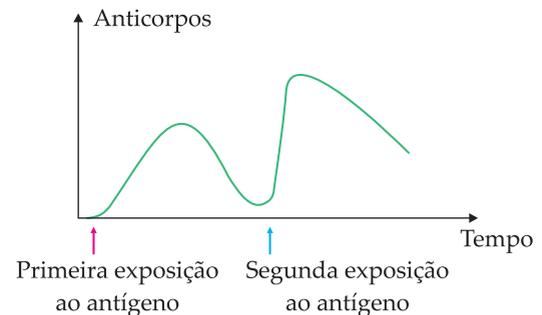
O vírus causador da **Síndrome da Imunodeficiência Adquirida** (SIDA ou AIDS) destrói células pertencentes a uma subclasse de linfócitos T, o que inviabiliza a resposta contra infecções. Isso torna os portadores dessa doença susceptíveis à infecção por agentes oportunistas, como a bactéria da tuberculose e o *Pneumocystis carinii*, uma bactéria que reside inofensivamente nos pulmões de pessoas saudáveis.

Os linfócitos T são, também, responsáveis pelo reconhecimento e pela destruição de células anormais (cancerosas) que eventualmente surjam no organismo. Falhas no sistema imunológico estão implicadas no desenvolvimento do câncer em alguns órgãos, como, por exemplo, o Sarcoma de Kaposi, tumor que afeta o tecido linfático.

### 7.2. Imunizações

A aquisição de uma "memória imunológica" após a primeira exposição a um antígeno é utilizada como a forma de se evitar doenças.

Quando um indivíduo, após um primeiro contato com um antígeno, tem uma segunda exposição, rapidamente é desencadeada uma intensa produção de anticorpos. Isso pode ocorrer naturalmente ou artificialmente.



A **resposta imunológica primária**, que ocorre após a primeira exposição a um antígeno, é lenta e pouco intensa, enquanto a **resposta imunológica secundária** é muito mais rápida e intensa, com os anticorpos sendo produzidos prontamente e em grande quantidade, graças à existência das células de memória imunológica.

Após ter sarampo, por exemplo, uma criança está imunizada contra esta doença. A isto, chamamos **imunização ativa natural**.

A **imunização ativa artificial** consiste na utilização de vacina. Trata-se de um antígeno capaz de desencadear a produção de anticorpos, mas incapaz de causar a doença. Se uma pessoa vacinada contra uma doença



entra em contato com seu agente causador, rapidamente produz anticorpos e o inativa.

Existem vários tipos de vacinas, como pode ser visto a seguir.

- Vacinas constituídas pelo próprio agente causador da doença, previamente morto por meios químicos ou físicos. Por exemplo, a vacina contra a coqueluche.
- Vacinas constituídas pelo agente atenuado. O agente (vírus ou bactéria), após passagem por meios de cultura especiais, permanece vivo, mas sem capacidade patogênica. É o caso da BCG e da vacina Sabin, que protegem contra a tuberculose e a paralisia infantil, respectivamente;
- Toxina atenuada (ou toxóide): em certas doenças os maiores danos não são causados diretamente pelo agente infeccioso, mas sim por toxinas por eles produzidas. É o caso da toxina tetânica. Assim, a vacina é produzida a partir da toxina, modificada quimicamente.
- Vacinas constituídas por fragmentos do agente infeccioso. São exemplos desse grupo algumas das vacinas para hepatite B, produzidas através de modernas técnicas de engenharia genética.

Existem situações em que um indivíduo não necessita produzir anticorpos, mas os recebe de outro indivíduo. Através da pla-

centa, por exemplo, passam anticorpos da mãe para o filho, bem como pelo leite materno. Particularmente rico em anticorpos é o leite produzido nos primeiros dias após o parto, o **colostro**. A isto, chamamos **imunização passiva natural**.

Pessoas ou animais previamente sensibilizados contra certos antígenos possuem, na circulação, anticorpos em grande quantidade. O plasma pode ser recolhido e utilizado para tratar pessoas doentes. O plasma, livre dos fatores da coagulação, chama-se **soro**. A utilização do soro constitui a **imunização passiva artificial**.

O soro pode ser homólogo, quando obtido de seres humanos, ou heterólogo, quando obtido de animais, geralmente de cavalo.

O uso de soro homólogo é sempre preferível, pois se trata de proteínas da mesma espécie. A aplicação de soro heterólogo, de cavalo ou de cobaia, pode desencadear graves manifestações alérgicas, já que se trata de proteína estranha.

Como o soro homólogo é preparado com sangue de convalescentes, deve-se tomar todo o cuidado para se evitar que outras doenças sejam transmitidas, como a AIDS. Todo o material deve ser analisado exaustivamente e, posteriormente, tratado com radiação ionizante para se obter sua total esterilização.

## Capítulo 04. Excreção

### 1. Introdução

O paramécio é um protozoário de vida livre. É capaz de interagir ativamente com a água onde vive, em uma lagoa, por exemplo. Na água, obtém oxigênio e nutrientes; para a água, lança  $\text{CO}_2$  e outros resíduos do seu metabolismo. Graças ao controle que exerce sobre essas trocas, consegue manter o seu interior relativamente estável e nitidamente diferente da água que o circunda.

O nosso corpo é constituído por diferentes células, exercendo funções distintas. Todas apresentam praticamente as mesmas exigências para sobreviverem: necessitam de oxigênio e alimentos e liberam  $\text{CO}_2$  e outros resíduos. Ao contrário do paramécio, cuja célula interage diretamente com o meio, as células humanas interagem com o líquido que as circunda, o **líquido extracelular**. Esse compartimento hídrico do corpo inclui o líquido intravascular (que circula pelos vasos sanguíneos) e o líquido intercelular, que banha o interstício dos tecidos.

Podemos dizer, a grosso modo, que o líquido intercelular se comporta, para as células humanas, como a água da lagoa para o paramécio. É o meio onde ela vive.

O corpo, como um todo, trata de manter este líquido **estável e confortável**, garantindo às células o fornecimento de  $\text{O}_2$  e de alimentos, bem como a remoção do  $\text{CO}_2$  e resíduos.

O paramécio é capaz de manter certa estabilidade em seu **meio intracelular**, enquanto muitos invertebrados e todos os vertebrados controlam muito bem não apenas o meio intracelular, como também o **meio extracelular**.

Uma das características marcantes dos seres vivos é a **homeostase**, que é a manutenção do meio interno estável e adequado.

Para que a composição química se mantenha constante, é fundamental a capacidade de eliminação de resíduos. O  $\text{CO}_2$  é excretado pelos pulmões ou outros órgãos respiratórios

(brânquias, pele etc.). Outros resíduos metabólicos são eliminados por órgãos especiais, representados, por exemplo, pelos rins dos vertebrados.

### 2. Excreção e Homeostase

A regulação do meio interno implica quatro processos distintos: (1) excreção de resíduos metabólicos, (2) regulação na concentração de íons, (3) regulação do equilíbrio ácido-base e (4) regulação da quantidade de água.

As células funcionam com extrema eficiência, e, geralmente, os resíduos de um processo são matéria-prima para outro. A quantidade real de detritos é pequena.

Depois do  $\text{CO}_2$ , os resíduos celulares produzidos em maior quantidade são os resultantes da quebra dos aminoácidos. São os **resíduos nitrogenados**, como a amônia.

Na verdade, a degradação dos aminoácidos libera o **grupo amina** ( $-\text{NH}_2$ ), que é convertido em um outro composto nitrogenado para ser excretado.

A maioria dos animais que tem oferta ilimitada de água (animais aquáticos) excreta os resíduos nitrogenados na forma de amônia, através da superfície do corpo, pelas brânquias ou pelos rins. São os animais **amoniotélicos**.

A principal vantagem da excreção de amônia ( $\text{NH}_3$ ) é o baixo gasto de energia para produzi-la a partir do  $-\text{NH}_2$ . Todavia, como a amônia é bastante tóxica, deve ser muito diluída, o que exige grande disponibilidade de água.

Animais terrestres, com suprimento mais restrito de água, têm que converter a amônia em produtos menos tóxicos, que demandem menor diluição.

Dos vertebrados, são amoniotélicos os peixes e os anfíbios na fase larvária, que têm habitat aquático.



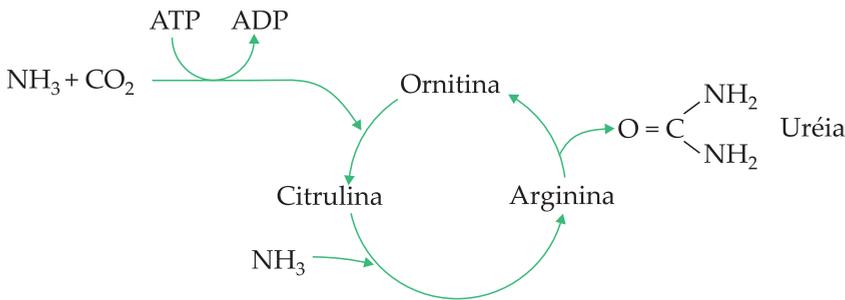
As aves, os répteis e os insetos eliminam ácido úrico, pouco tóxico e insolúvel em água, formando cristais. São chamados **uricotélicos**.

Nas aves e nos répteis, o ácido úrico é misturado aos restos alimentares não digeridos e eliminado pela cloaca, sob forma de uma pasta semi-sólida.

Aves e répteis excretam ácido úrico também, porque este pode ser armazenado dentro do ovo, durante o desenvolvimento embrionário, o que seria impossível com resíduos de maior toxicidade.

Os mamíferos, bem como os anfíbios na fase adulta, excretam os resíduos nitrogenados na forma de uréia, que provém principalmente da degradação de aminoácidos. São os animais **ureotélicos**. A uréia é menos tóxica que a amônia e mais tóxica que o ácido úrico, necessitando, então, de uma quantidade de água para a sua eliminação maior que este último. Apesar disso, a excreção da uréia, quando possível, é vantajosa sobre a excreção de ácido úrico por dispender menos energia. Como podemos perceber, o produto de excreção dos animais está relacionado com seu **hábitat**.

A degradação de aminoácidos produz amônia, e esta é convertida em uréia no fígado.



As reações mostradas acima ocorrem na forma de uma seqüência cíclica, complexa, e não exatamente como o indicado. Tal seqüência é conhecida como **ciclo da ornitina**, e pode estar comprometida em doenças graves do fígado, como a hepatite fulminante.

A uréia produzida pelo fígado é liberada na corrente sangüínea e excretada pelos rins através da urina.

Os rins participam do controle das concentrações de íons, como o  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$  etc., importantes por participarem de processos bioquímicos como o potencial de membrana, a contração muscular, a coagulação do sangue, dentre outros.

Um terceiro elemento da regulação do meio interno é o ajuste do pH. O controle do pH sangüíneo está relacionado com o efeito tamponante dos íons bicarbonato.



Além disso, a excreção de uma urina ácida ou alcalina auxilia a manutenção do pH corporal. O plasma humano, habitualmente, encontra-se com pH entre 7,36 e 7,44. O pH da urina oscila entre 4,5 e 8,0 em função do pH do plasma sangüíneo.

Se o pH do sangue tende à alcalose ( $\text{pH} > 7,44$ ), o rim elimina urina alcalina e retém  $\text{H}^+$ . Caso o pH tenda à acidose ( $\text{pH} < 7,36$ ), o rim produz urina ácida e retém íons bicarbonato.

A quarta função do sistema excretor é a regulação na quantidade de água, cuja principal influência é a disponibilidade de água pelo animal.

Os primeiros seres vivos devem ter sido de composição química muito semelhante ao meio onde se encontravam, e isotônicos em relação ao meio.

Quando os seres vivos passaram para a água doce, tiveram de desenvolver sistemas de eliminação de água, pois a água tendia, por osmose, a penetrar em seus corpos. O vacúolo pulsátil do paramécio é um exemplo.

A perda de água, entretanto, não pode ser acompanhada pela perda de soluto, como a glicose e sais. No peixe de água doce, o rim funciona como um filtro e é reabsorvente e a urina é hipotônica, com concentração de solutos inferior aos fluidos corporais.

Os peixes de água salgada têm fluidos hipotônicos em relação ao meio, e tendem a perder água por osmose. Isso foi resolvido de algumas formas, durante a evolução. O tubarão, por exemplo, é tolerante a uma grande concentração de uréia em seu sangue. Essa alta concentração torna o seu plasma quase isotônico em relação à água do mar, evitando a perda de água por osmose (uremia fisiológica).

Peixes ósseos e répteis marinhos possuem mecanismos perdedores de sal. Os peixes possuem glândulas especiais nas brânquias, e os répteis eliminam pela lágrima.

O controle da quantidade de água no corpo auxilia, indiretamente, a manutenção da temperatura. Assim, no verão, os mamíferos urinam menos, tornando a urina concentrada.

O volume urinário aumenta no inverno e a urina se torna mais diluída.

### 3. Excreção Comparada

Nos protozoários, a eliminação de resíduos se dá pela **difusão** do interior das células para o meio. Nos protozoários de água

doce, o **vacúolo pulsátil (contrátil)** elimina a água que penetra por osmose. Quanto mais hipotônico (diluído) for o meio, maior será a frequência de pulsações do vacúolo, para eliminar o excedente hídrico e evitar a lise celular.

Os poríferos e os celenterados não contam com um sistema excretor, eliminando resíduos por difusão para o meio.

Nos platelmintos, encontram-se as **células-flama**, dotadas de tufo de cílios. Água e resíduos, provenientes dos líquidos teciduais, são impelidos pelo batimento desses cílios para túbulos que se abrem em poros excretores.

Os nematelmintos possuem **canais excretores longitudinais** (tubos em “H”), para onde se difundem as substâncias que daí são eliminadas.

A excreção dos anelídios se dá pelos **nefrídios**, longos túbulos que existem aos pares em cada segmento do corpo. Uma extremidade do túbulo abre-se para fora do corpo. A outra, com a forma de funil de borda ciliada, abre-se na cavidade corporal – o celoma.

Graças aos batimentos dos cílios da borda do funil, o líquido celomático é impulsionado para o interior do túbulo no nefrídio. À medida que flui, açúcares, íons e outras substâncias úteis são devolvidas ativamente ao sangue, enquanto outras são excretadas para o interior do nefrídio. Assim, os nefrídios participam intensamente da regulação da composição dos líquidos corporais. Os **nefrídios** são encontrados, ainda, nos moluscos.

Os artrópodes possuem diversas estruturas excretoras. **Túbulos de Malpighi** nos insetos, quilópodes e diplódes, **glândulas verdes** nos crustáceos e **túbulos de Malpighi** e **glândulas coxais** nos aracnídeos.

Ao contrário dos nefrídios, cuja abertura se dá na superfície do corpo, os **túbulos de Malpighi** dos insetos abrem-se no intestino, onde os resíduos são lançados.



Os equinodermos excretam por **difusão** a partir de toda a superfície do corpo.

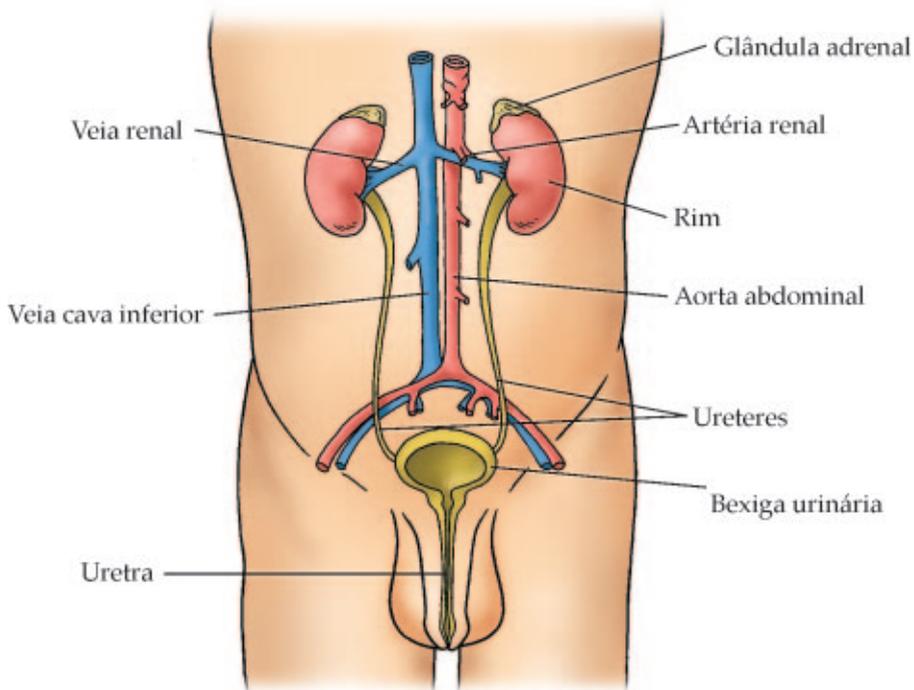
Nos cordados, os túbulos excretores concentram-se em órgãos chamados **rins**. As extremidades coletoras dos túbulos não são abertas, como nos nefrídios; estão associadas aos vasos sangüíneos.

Nos vertebrados, encontram-se 3 tipos de rins:

- **Rins pronefros** – metamerizados, situados anteriormente na cavidade corporal. Aparecem no embrião de todos os vertebrados. Funcionam, ativamente, em alguns peixes (ciclóstomos) e larvas de anfíbios.
- **Rins mesonefros** – localizados medianamente na cavidade corporal, já possuem alguns túbulos com cápsulas de Bowman. São ativos em peixes e anfíbios, bem como nos embriões de répteis, aves e mamíferos, desaparecendo na vida adulta.
- **Rins metanefros** – situam-se na parte posterior da cavidade corporal, e todos os túbulos possuem cápsulas de Bowman. São encontrados funcionantes na fase adulta de répteis, aves e mamíferos.

Excreção nos Grupos Animais		
Grupo Animal	Resíduo Nitrogenado	Estrutura Excretora Típica
Poríferos	Amônia	Difusão
Celenterados	Amônia	Difusão
Platelmintos	Amônia	Célula-flama
Nematelmintos	Amônia	Tubos em "H"
Anelídeos	Amônia	Nefrídios
Moluscos	Amônia	Nefrídios
Insetos	Ácido úrico	Tubos de Malpighi
Crustáceos	Amônia	Glândulas verdes
Aracnídeos	Guanina	Glândulas coxais
Equinodermos	Amônia	Difusão
Osteíctes	Amônia	Rins
Condrictes	Uréia	Rins
Anfíbios (larvas)	Amônia	Rins
Anfíbios (adultos)	Uréia	Rins
Répteis	Ácido úrico	Rins
Aves	Ácido úrico	Rins
Mamíferos	Uréia	Rins

## 4. Sistema Urinário Humano



Nos vertebrados terrestres, o órgão mais importante na regulação da composição química do corpo é o **rim**.

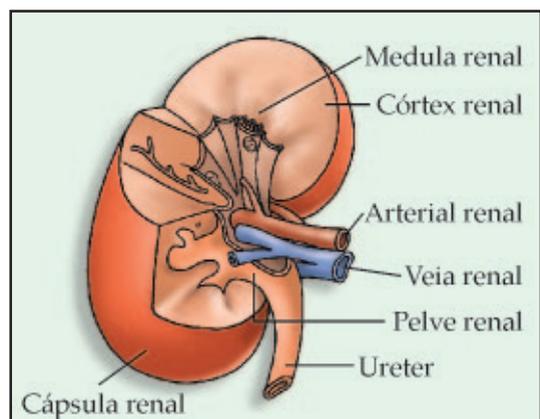
Os rins humanos têm forma de feijão, são de coloração vermelho-escuro e estão localizados atrás do estômago e do fígado.

Em corte longitudinal, mostra uma camada externa, o **córtex**, que contém as unidades filtradoras, e uma camada interna, a **medula**, por onde passam os tubos coletores.

Sua unidade funcional é o **néfron**. Cada rim possui cerca de um milhão de néfrons. O néfron se constitui de um túbulo que tem uma extremidade fechada, a cápsula de Bowman. A outra extremidade abre-se na pelve renal, onde a urina deságua no ureter.

Pelo ureter, a urina é levada até a bexiga urinária, onde se deposita e armazena.

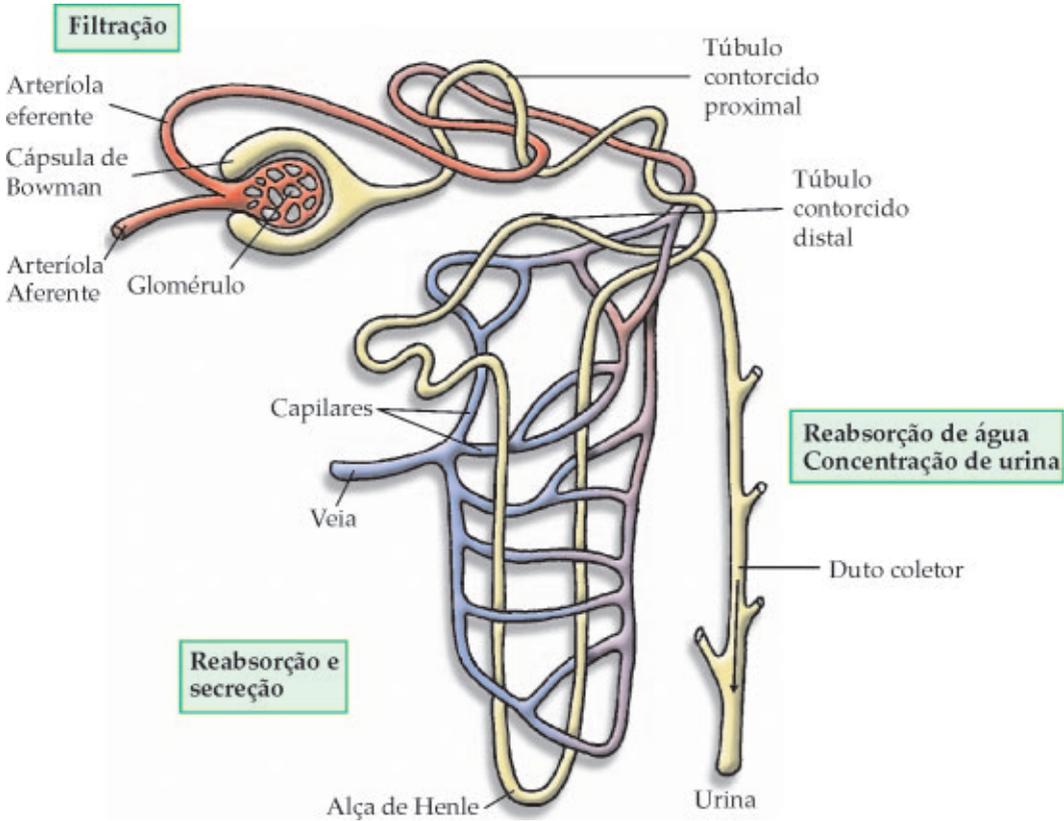
Quando a bexiga atinge determinado grau de enchimento, contrai-se e elimina a urina para o meio externo, através da uretra.





### 4.1. Produção da Urina

A unidade produtora de urina é o néfron, que abrange uma parte vascular (por onde circula o sangue) e uma parte tubular (onde se forma a urina).



O néfron é a unidade funcional do rim

Cada cápsula de Bowman envolve um tufo de capilares enovelados, chamado glomérulo. O sangue passa pelo glomérulo em alta pressão, e parte do plasma sanguíneo (exceto as proteínas) é filtrada através da parede dos capilares, passando para o interior da cápsula de Bowman.

As proteínas não são filtradas devido ao seu elevado peso molecular.

A passagem da água dos capilares do glomérulo para a cápsula de Bowman é o resultado de uma interação de pressões, umas forçam a passagem e outras a dificultam.

A pressão do sangue na arteriola é o principal fator que força a filtração e a passagem da água. Todavia, a esta pressão se antepõem

outras duas: a pressão osmótica exercida pelas proteínas presentes no plasma sanguíneo (pressão coloidosmótica ou oncótica), e a pressão hidrostática exercida pelo fluido já presente dentro da cápsula de Bowman.

$$PF = PS - (PO + PH)$$

Onde:

PF = pressão de filtração

PS = pressão do sangue na arteriola aferente

PO = pressão oncótica das proteínas plasmáticas

PH = pressão hidrostática intracapsular.

Como a filtração ocorre sob pressão, é chamada ultrafiltração.

O filtrado glomerular tem composição química muito semelhante ao plasma sangüíneo, enquanto a urina é muito diferente dele.

As modificações que o filtrado glomerular sofre, até se transformar em urina, acontecem durante a sua passagem pelos túbulos renais, que envolvem o tubo contorcido proximal, a alça de Henle, o tubo contorcido distal e o tubo coletor.

Em vinte e quatro horas, são filtrados cerca de 180 litros de fluido. Todavia, produz-se apenas 1 a 1,5 litro de urina. Cerca de 99 por cento do líquido filtrado é reabsorvido. Certos solutos, como a glicose, são reabsorvidos em sua totalidade.

À medida que o filtrado caminha pelo túbulo renal, a água, sais, glicose, aminoácidos e outras substâncias são reabsorvidas, voltando à circulação.

A água é reabsorvida principalmente na alça de Henle e no tubo coletor.

Há, além da filtração glomerular e da reabsorção tubular, a excreção de substâncias, como a uréia, dos capilares peri-tubulares para o interior do túbulo renal.

Assim, há 3 mecanismos implicados na formação da urina:

- a filtração glomerular (FG);
- a reabsorção tubular (RT);
- a secreção tubular (ST).

Podemos dizer que a urina é constituída por tudo o que foi filtrado pelos glomérulos mais o que foi secretado pelos túbulos, menos aquilo que é reabsorvido.

$$\text{URINA} = (\text{FG} + \text{ST}) - \text{RT}$$

### 4.2. Regulação da Função Renal

No adulto normal, a perda de água é de cerca de 1,5L por dia. A quantidade pode variar de 0,5 a vários litros por dia. Entretanto, a quantidade total de água do corpo varia menos de 1 por cento.

Os ajustes que determinam o equilíbrio hídrico dependem principalmente do hormônio antidiurético (ADH). O ADH faz com que os túbulos renais reabsorvam mais água, fazendo com que os rins retenham água. Torna a urina mais concentrada e menos volumosa.

A produção de ADH é regida por receptores sensíveis à concentração do plasma. Pode também ser estimulada pela queda na pressão arterial, como no caso de uma hemorragia.

Caso uma pessoa seja submetida à privação de água, seu plasma se torna hipertônico, estimulando a secreção de ADH pela neurohipófise. Isso fará aumentar a reabsorção de água pelos rins, diminuindo o volume de urina e tornando-a mais concentrada.

Na doença chamada **diabetes insípido**, há falta de ADH, e a pessoa pode perder até 15 litros de urina por dia.

Um hormônio do córtex da supra-renal, a aldosterona (mineralocorticóide), aumenta a reabsorção de sódio pelos túbulos renais. Sua secreção ocasiona elevação da pressão arterial, por aumentar a tonicidade do plasma e a retenção de água.

Quando a pressão do sangue nos átrios cardíacos aumenta, estes secretam um hormônio, o fator natriurético atrial, conhecido por sua sigla FNA. O FNA, dentre outros efeitos, provoca dilatação da arteríola aferente do néfron e constrição (estreitamento) da arteríola eferente.

Dessa forma, há um considerável aumento na pressão do sangue na arteríola aferente, e principalmente nos capilares do glomérulo, o que aumenta a pressão de filtração. Com isso, há maior filtração glomerular, formação de mais urina, com eliminação de maior quantidade de água e, conseqüentemente, diminuição da pressão do sangue.

O FNA também aumenta a perda urinária de sódio, o que contribui para diminuir a pressão.



## Capítulo 05. Sistema Nervoso

### 1. Introdução

Como os metazoários apresentam diversos sistemas atuando simultaneamente, é necessário que haja a integração e controle das múltiplas atividades desses sistemas para que possa haver a harmonia do conjunto, permitindo a sobrevivência do organismo inteiro.

Essa regulação é de responsabilidade dos sistemas endócrino e nervoso.

Em ambos os sistemas, observam-se "mensagens" sendo veiculadas.

No sistema endócrino, a mensagem é de natureza química e distribui-se para todo o corpo através da corrente sanguínea, por meio de substâncias chamadas **hormônios**. Uma pequena quantidade de hormônio é capaz de agir em numerosas células-alvo, o que torna o sistema muito econômico. Além disso, permanecem atuando por certo tempo depois de secretados. Todavia, existe alguma latência entre a produção do hormônio e a execução da ordem determinada.

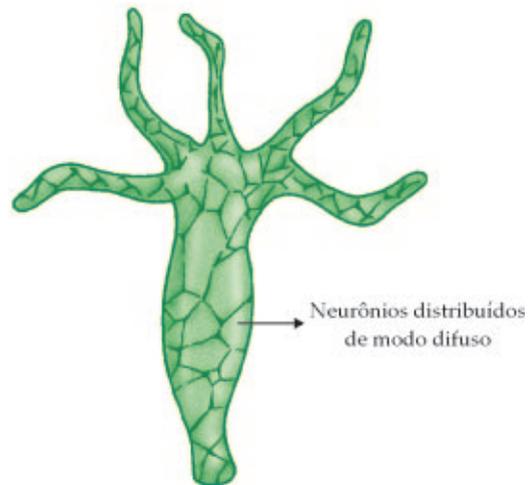
O sistema nervoso atua com uma mensagem de natureza elétrica, o **impulso nervoso**, que é distribuído pelos neurônios e se propaga com enorme velocidade, fazendo a resposta ser executada prontamente. Cessado o estímulo, cessa também a resposta. É um sistema com elevado consumo de energia.

### 2. Sistema Nervoso Comparado

Assim como o sistema endócrino ou hormonal, é um sistema de comunicação entre as várias partes do corpo. Tem a vantagem de permitir a propagação muito mais rápida das informações. A produção, liberação e atuação de um hormônio leva alguns segundos, ou mesmo minutos, enquanto um impulso nervoso pode percorrer todo o corpo em centésimos de segundo.

Além disso, o sistema nervoso pode tanto desencadear uma resposta como interromper a mesma, dando aos animais capacidade de explorar o ambiente.

As células nervosas (neurônios) transmitem os impulsos nervosos graças a alterações elétricas que ocorrem em suas membranas.



Hidra

Os celenterados possuem um **sistema nervoso reticular** ou **difuso**.

Este sistema nervoso é composto por células nervosas que diferem dos neurônios típicos por dois aspectos:

- comunicam-se por pontes citoplasmáticas;
- transmitem os impulsos em qualquer direção.

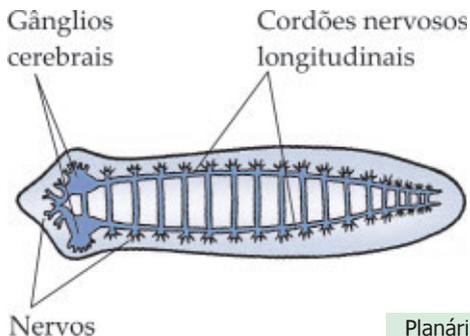
Nos animais de simetria bilateral, o sistema nervoso é formado por **gânglios nervosos**, que concentram os corpos celulares dos neurônios, e por **cordões nervosos** que se estendem ao longo do corpo. Nos invertebrados, os cordões nervosos são **ventrais** e dos gânglios e dos cordões saem nervos para as diferentes partes do corpo.

A evolução do sistema nervoso obedeceu a três tendências:

- surgimento das sinapses, que propagam o impulso entre dois neurônios apenas em um sentido;

- concentração de fibras nervosas em feixes (**nervos**);
- concentração dos corpos celulares em **gânglios** e agrupamento dos gânglios na região anterior do corpo (**cefalização**).

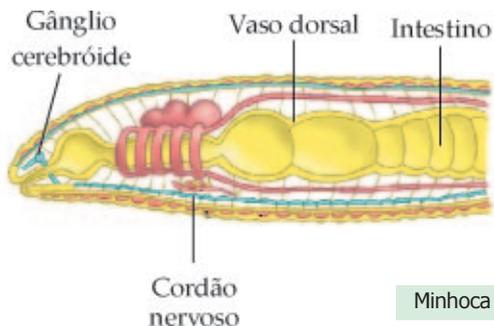
Os platelmintos têm dois gânglios anteriores, de onde partem os cordões nervosos e os nervos para a região cefálica.



Planária

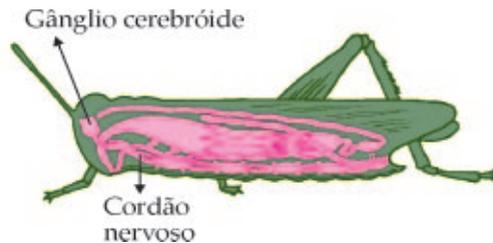
O sistema nervoso dos nematelmintos é do tipo ganglionar, formado por dois cordões longitudinais, um dorsal e outro ventral, ao longo dos quais situam-se gânglios nervosos.

Nos anelídeos, o sistema nervoso envolve dois cordões nervosos ventrais, com gânglios em cada segmento, de onde partem nervos, e um par de gânglios cerebróides, maiores, na região anterior, como um "encéfalo" primitivo.



Minhoca

Artrópodes possuem sistema nervoso semelhante ao dos anelídeos, com gânglios cerebróides (ou encefálicos) e dois cordões ventrais com gânglios de onde partem nervos.



Inseto

Esse tipo de sistema nervoso é chamado **ganglionar**.

Tanto em anelídeos como em artrópodes, muitas atividades são controladas pelos gânglios, dispensando o encéfalo simples. Muitos desses animais são capazes de andar, voar e até copular, mesmo depois de terem sido decapitados!

Dentre os moluscos, os cefalópodes são os que têm o sistema nervoso mais desenvolvido. Os gânglios se agrupam na parte anterior do corpo, formando um grande cérebro, protegido por uma cápsula, e de onde saem nervos para os tentáculos.



Lula

Os equinodermos têm um nervo anelar, ao redor da boca, de onde partem nervos radiais para os braços, acompanhando a simetria do animal, posicionados ventralmente.

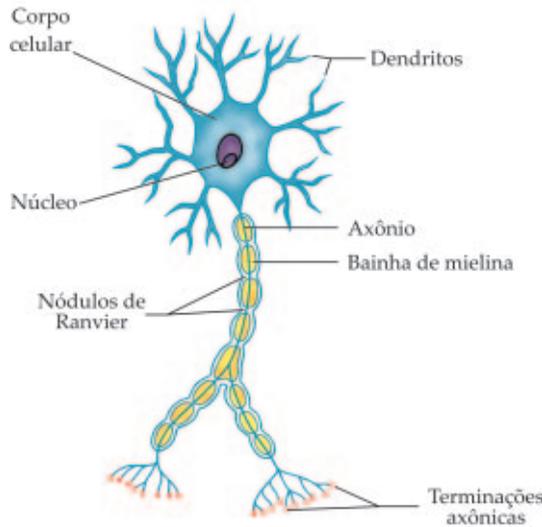
Os cordados têm um sistema nervoso dorsal, apresentando encéfalo bem desenvolvido e medula espinhal. Diferente dos cordões nervosos dos invertebrados, que são maciços, a medula dos cordados é atravessada por um canal, por onde circula líquido.

### 3. Neurônios e Nervos

O constituinte fundamental do sistema nervoso é uma célula chamada **neurônio**. Consiste de um corpo celular, onde se encontram o núcleo e a maior parte do citoplasma, e de onde partem numerosos



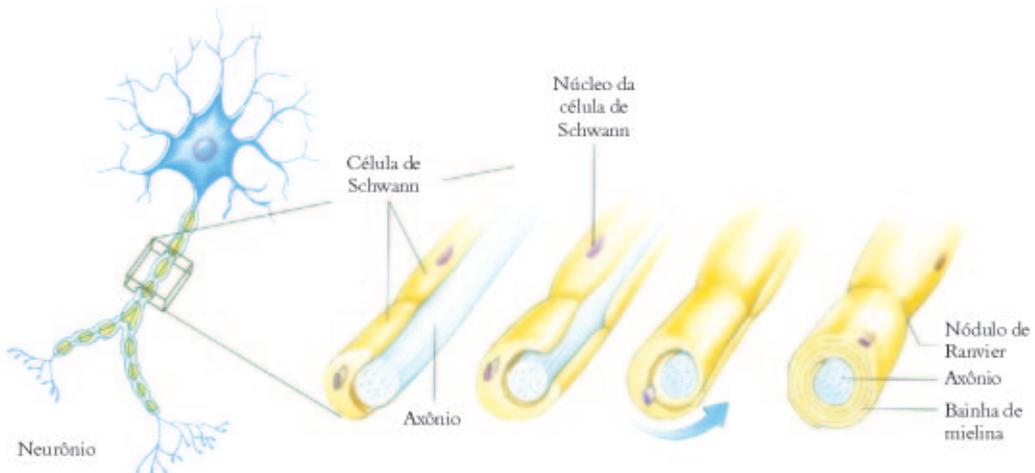
prolongamentos: os dendritos, que são áreas receptoras de estímulos, e o axônio, por onde o impulso nervoso é propagado para longe do corpo celular.



Neurônio: unidade morfofisiológica do sistema nervoso

Os corpos celulares estão localizados em áreas restritas ao sistema nervoso central (encéfalo e medula espinhal) e aos gânglios, enquanto os seus prolongamentos se distribuem por todo o corpo em feixes chamados **nervos**. Os nervos que levam informações da periferia até o sistema nervoso central são os **nervos sensitivos** ou **aférentes**; aqueles que transmitem impulsos para os músculos ou para as glândulas, a partir do sistema nervoso central, são os **nervos motores** ou **eferentes**.

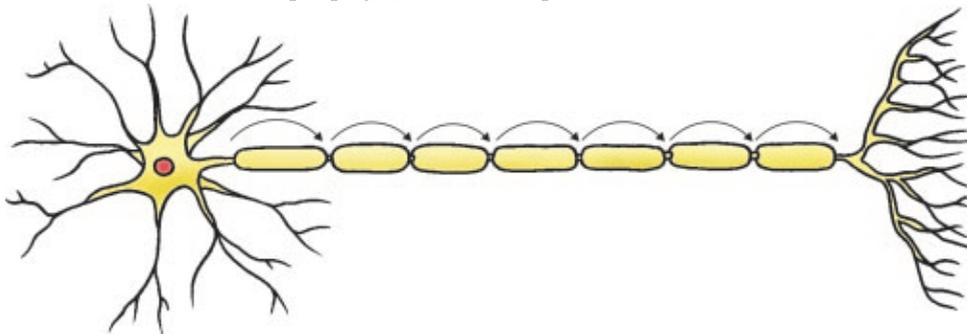
Alguns neurônios possuem axônio recoberto por um envoltório chamado **bainha de mielina**, originada a partir das células de Schwann.



Detalhe do neurônio e a formação da bainha de mielina

A porção celular desse revestimento constitui o neurilema.

Nos neurônios onde a bainha de mielina está presente, o impulso nervoso se propaga diretamente de um nódulo de Ranvier a outro. Neurônios mielinizados chegam a transmitir o impulso nervoso a mais de 100 metros por segundo, enquanto, em alguns neurônios amielínicos, a velocidade de propagação não ultrapassa a 0,5 m/s.

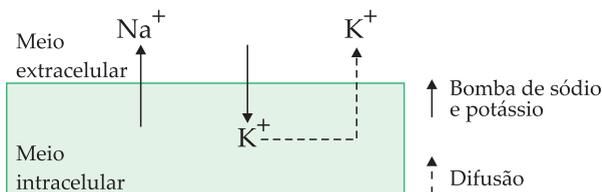


Esquema da condução saltatória do impulso nervoso num axônio mielinizado

### 3.1. Impulso Nervoso

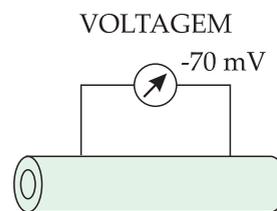
A bomba de sódio e potássio é um mecanismo de transporte ativo que, com gasto de energia, retira sódio da célula para o meio extracelular e introduz potássio. Em consequência disso, a concentração de potássio no meio intracelular é cerca de 30 vezes maior que no meio extracelular. O sódio, por sua vez, apresenta concentração 10 vezes maior fora que dentro da célula.

A membrana do neurônio em repouso é relativamente impermeável ao sódio, o que impede que esse íon se mova a favor do gradiente de concentração (de fora para dentro da célula). A membrana, porém, é permeável ao potássio. Pelo gradiente de concentração anteriormente citado, o potássio flui para o meio extracelular passivamente por difusão.



Isto cria um déficit de cargas positivas dentro da célula e a membrana se torna eletricamente polarizada, ou seja, o interior do neurônio é negativo em relação ao exterior.

A diferença de potencial existente entre as superfícies externa e interna do neurônio em repouso é de cerca de -70 milivolts. Toma-se como referencial o meio intracelular, daí o sinal negativo. Esta **ddp** vigente entre as duas faces do neurônio em repouso é o **potencial de membrana** ou **potencial de repouso**.



Algumas modificações irão ocorrer no neurônio ao ser estimulado. Para que essas modificações ocorram, tal estímulo tem que possuir certa intensidade mínima, chamada **limiar de excitação**. Uma vez alcançado esse limiar, o estímulo irá desencadear sempre a mesma resposta, por mais que sua intensidade aumente. Então, o neurônio obedece à **lei do tudo ou nada**.

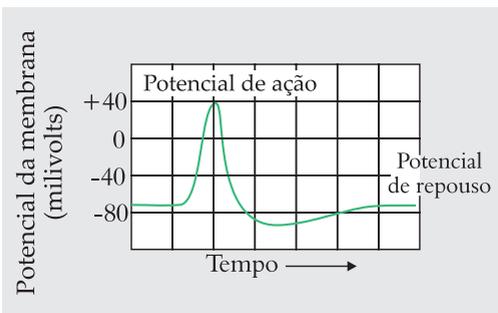


Ao ser estimulada, uma pequena região da membrana do neurônio torna-se momentaneamente permeável ao sódio. A entrada desse íon é acompanhada de pequena saída de potássio. O fluxo mais intenso de sódio faz com que o interior da célula se torne carregado positivamente em relação ao exterior. Esta alteração na distribuição de cargas elétricas é chamada **despolarização** e dura 1,5 milésimo de segundo. Note que, na verdade, a membrana do neurônio não está "despolarizada". Houve, isto sim, uma inversão na polaridade.

A variação no potencial elétrico da membrana do neurônio, que se observa quando este é estimulado, é o potencial de ação.

Na região despolarizada, a **ddp** entre as duas faces da membrana passa para + 40 milivolts.

Após isso, cabe ao neurônio remover do seu interior, ativamente, o excesso de sódio. Durante esse período, o neurônio se torna insensível e não responde a novos estímulos, por mais intensos que sejam. Por isso, este **período de repolarização** é designado por **período refratário**.

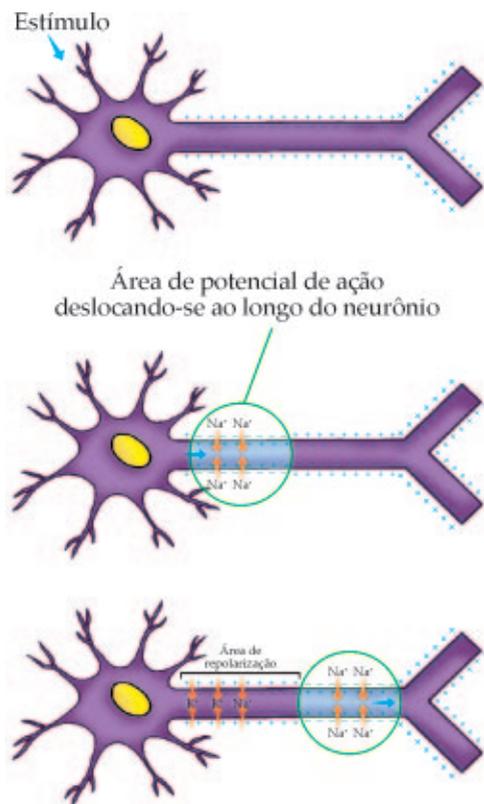


Uma vez observado como ocorre a despolarização, veremos como ela se propaga. A região estimulada se despolariza e o seu interior se torna positivo, não só em relação ao meio externo, como também em relação ao interior da região adjacente. Há, então, um fluxo de cargas positivas em direção à região ainda em repouso, o que a estimula e a despolariza. Essa nova região, despolarizando-se, irá fazer o mesmo com a região seguinte, e assim sucessivamente até alcançar o final do axônio.

Desse modo, vê-se que o impulso nervoso é uma reação em cadeia, autopropagada, na qual um potencial de ação desencadeia outro potencial de ação.

A propagação do impulso ao longo do neurônio é unidirecional (dentrito → corpo celular → axônio) e se deve a alterações eletroquímicas em suas membranas.

O impulso nervoso é, portanto, um fenômeno de natureza eletroquímica, que se propaga unidirecionalmente pela membrana do neurônio.



A despolarização e a repolarização ao longo do axônio do neurônio

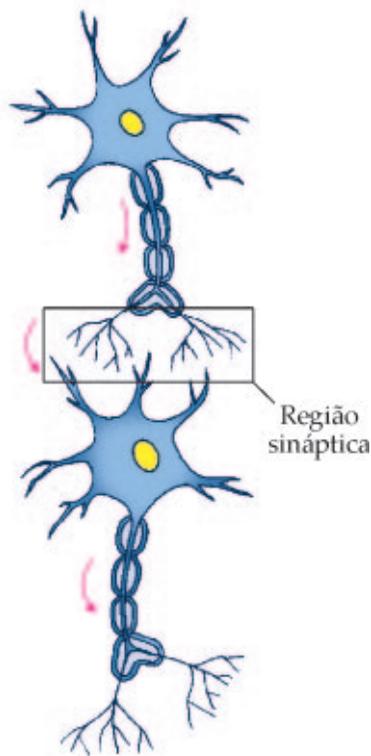
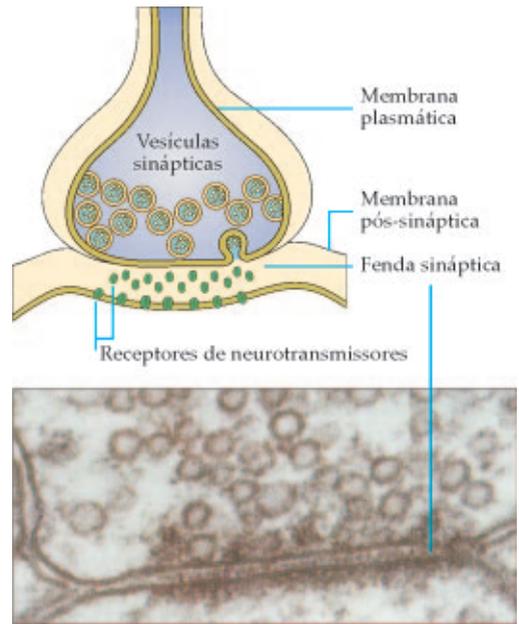
### 3.2. Sinapse

O ponto de interação entre dois neurônios adjacentes é a sinapse. Na extremidade do axônio, e somente nesta, existem minúsculas e numerosas vesículas, repletas de uma substância conhecida por **mediador químico**, que

pode ser a acetilcolina ou a noradrenalina, de acordo com a sinapse em questão. Esse mediador químico atua como neurotransmissor (ou neuro-hormônio).

Quando o impulso nervoso alcança a terminação do axônio, ocorre a ruptura de suas vesículas sinápticas e a liberação do mediador químico, que então atravessa o espaço existente entre o axônio de um neurônio e o dendrito do seguinte, atinge a membrana e se liga a receptores específicos aí localizados. Ocorre, então, uma estimulação química desse neurônio e a geração de um novo potencial de ação. Um novo impulso nervoso irá percorrer o neurônio seguinte. Diferente da propagação ao longo de um neurônio, a propagação do impulso nervoso através da sinapse é um fenômeno de natureza química.

Aqui, a propagação também é unidirecional, do axônio de um neurônio para o dendrito do seguinte, uma vez que no dendrito não existem as vesículas sinápticas com o mediador químico.



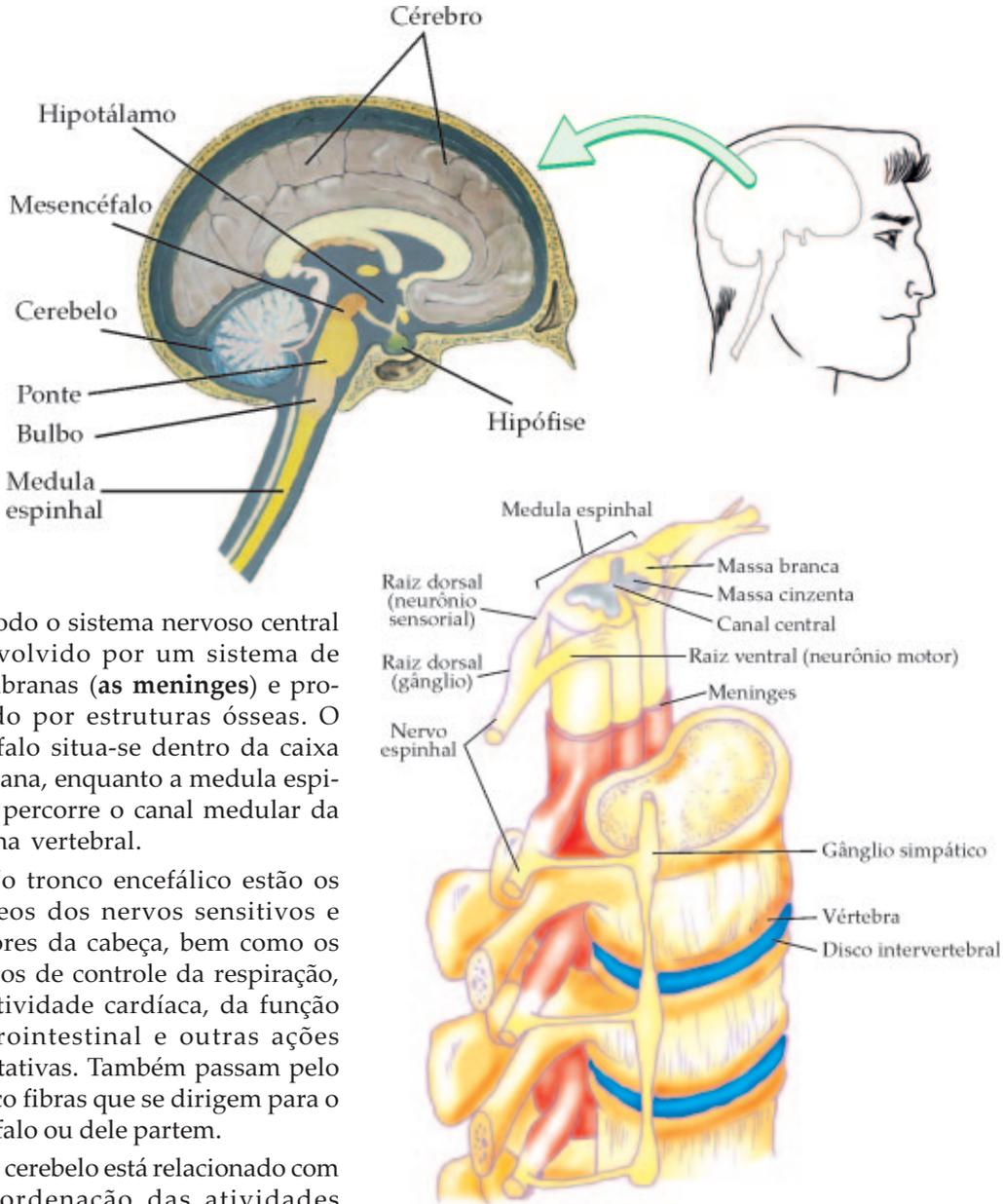


## 4. Sistema Nervoso Central

### 4.1. Composição

É no sistema nervoso central que se concentram praticamente todos os corpos celulares de nossos neurônios. Os seus prolongamentos percorrem o corpo em nervos que, juntamente com os gânglios nervosos, constituem o sistema nervoso periférico.

O sistema nervoso central é constituído pela medula espinhal e pelo encéfalo. Este, por sua vez, abrange o cérebro, o cerebelo e o tronco encefálico (mesencéfalo, ponte e bulbo).



Todo o sistema nervoso central é envolvido por um sistema de membranas (as **meninges**) e protegido por estruturas ósseas. O encéfalo situa-se dentro da caixa craniana, enquanto a medula espinhal percorre o canal medular da coluna vertebral.

No tronco encefálico estão os núcleos dos nervos sensitivos e motores da cabeça, bem como os centros de controle da respiração, da atividade cardíaca, da função gastrointestinal e outras ações vegetativas. Também passam pelo tronco fibras que se dirigem para o encéfalo ou dele partem.

O cerebelo está relacionado com a coordenação das atividades

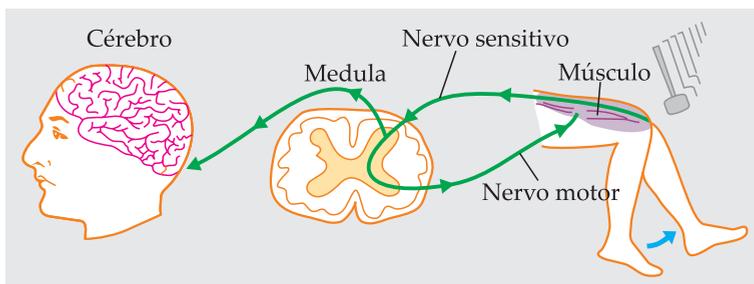
motoras, o que nos permite realizar atividades complexas como andar, nadar, tocar piano, engolir etc. Também relaciona-se com a manutenção da postura e do equilíbrio.

O cérebro participa de uma série de atividades, como a integração das percepções sensoriais (olfato, visão, dor etc.), o controle da atividade motora voluntária, o raciocínio, a memória, o aprendizado, as emoções etc. Também participa do controle de algumas atividades vegetativas, como a fome, a sede, o controle de temperatura e outras.

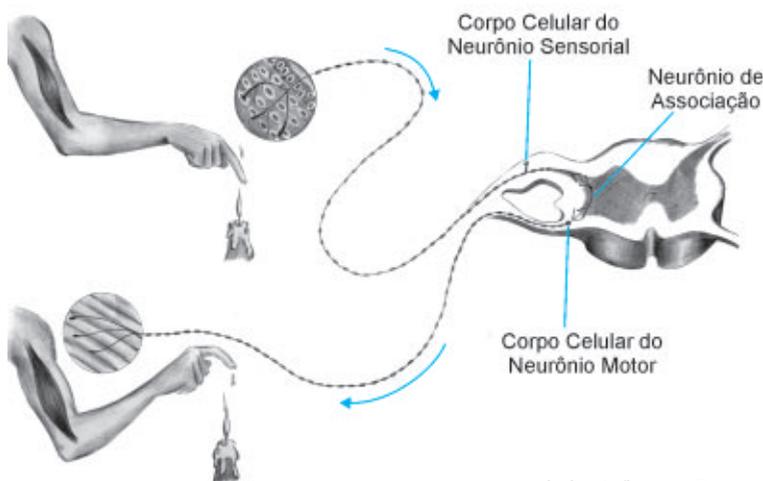
A medula espinhal é a via de passagem de impulsos aferentes dos receptores sensoriais para o encéfalo, e de impulsos eferentes do encéfalo para os músculos ou para as glândulas. É, também, sede de algumas atividades reflexas, descritas a seguir.

### 4.2. Ato e Arco Reflexo

A retirada do dedo quando encostado em uma superfície quente ou o “chute no ar” desferido quando se percute com um martelo o tendão patelar do joelho são exemplos de atividades reflexas, que ocorrem “automaticamente”, sem participação da consciência. O estímulo (dor ou pancada, respectivamente) é percebido por uma célula receptora e transmitido à medula espinhal. Aí, esse neurônio sensorial (sensitivo) faz sinapse com um interneurônio (neurônio de associação) que, por sua vez, retransmite o sinal ao neurônio motor. O neurônio motor transmite o impulso ao músculo apropriado, que movimenta o braço ou a perna.



Assim, o membro é movido antes mesmo que o cérebro tenha podido processar a informação. Esse tipo de atividade é conhecido por **ato reflexo** ou, simplesmente, **reflexo**. O caminho seguido pelo impulso nervoso e que permite a execução de um ato reflexo é chamado **arco reflexo**.





Se uma pessoa sofrer uma fratura da coluna vertebral e, em consequência, sua medula espinhal for seccionada, as terminações nervosas localizadas abaixo da lesão estarão desconectadas dos níveis superiores do sistema nervoso central. Portanto, a atividade voluntária e a sensibilidade estarão abolidas. Todavia, como a atividade reflexa depende de neurônios localizados na medula espinhal, e não no encéfalo, esta se mantém preservada.

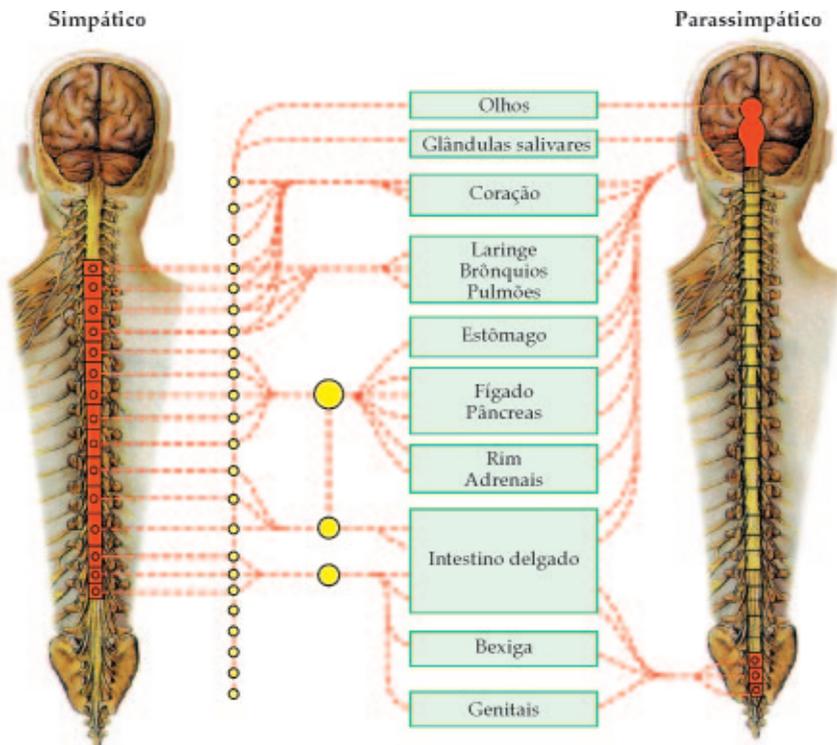
Tal não ocorre em pacientes acometidos pela poliomielite (ou paralisia infantil). Trata-se de doença causada por um vírus que destrói determinados grupos de neurônios motores da medula espinhal. Nesses indivíduos, tanto a atividade voluntária quanto a atividade reflexa estão abolidas na região afetada, enquanto a sensibilidade está preservada.

## 5. Sistema Nervoso Periférico

Há duas divisões importantes do sistema nervoso periférico: o somático e o autônomo. O **sistema nervoso periférico somático** inclui neurônios motores e sensoriais. Assim, as informações sensoriais (visão, tato, olfato etc.) e as atividades que podem ser voluntariamente controladas (atuação dos músculos estriados) são processadas por esse sistema.

O **sistema nervoso periférico autônomo** é inteiramente motor, constituído pelos nervos que controlam o músculo cardíaco, as glândulas e a musculatura lisa da parede de órgãos ocos. Não se encontra sob controle voluntário.

O sistema nervoso periférico autônomo apresenta duas subdivisões, a **simpática** e a **parassimpática**, que são anatômica e funcionalmente distintas. Geralmente, as suas ações se antagonizam, excitando e inibindo determinadas atividades.



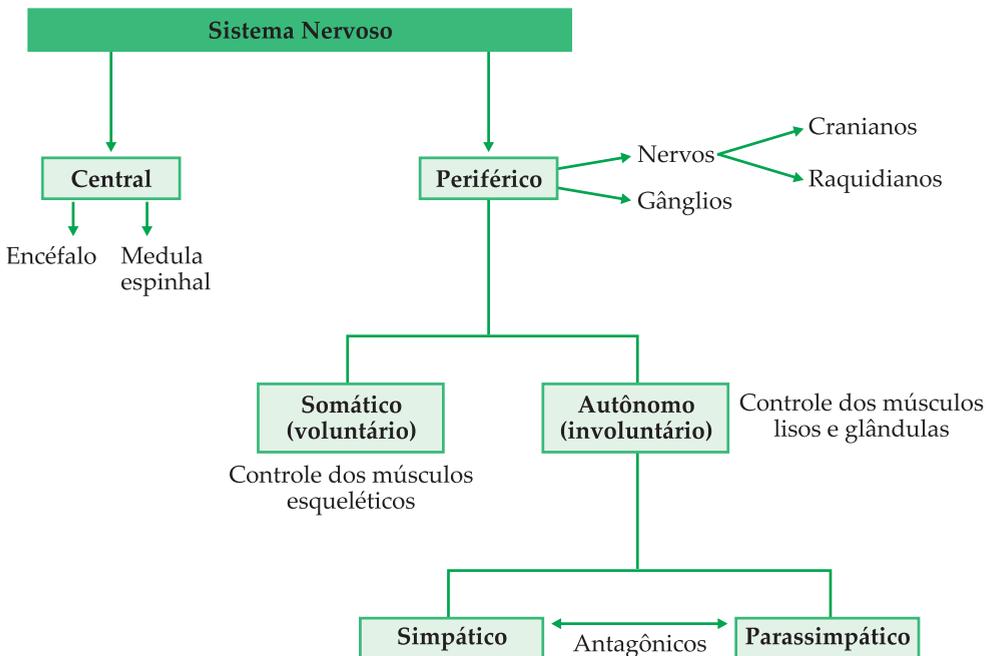
Órgãos inervados pelo sistema nervoso autônomo. Os nervos do sistema simpático partem de uma cadeia ganglionar localizada ao longo do tronco, paralela à coluna vertebral, a cadeia simpática. Os nervos parassimpáticos saem do cérebro ou da região terminal da medula espinhal.

O antagonismo funcional é explicado pela liberação de diferentes substâncias químicas em suas sinapses, em nível dos órgãos-alvo. Nas sinapses do sistema nervoso simpático o mediador usado é a **noradrenalina**, enquanto o sistema parassimpático utiliza a **acetilcolina**. Como essas substâncias têm ações antagônicas sobre órgãos, as atuações desses dois sistemas são diferentes.

A tabela ao lado mostra alguns exemplos de ação antagônica do sistema autônomo simpático e parassimpático.

O esquema a seguir mostra as subdivisões do sistema nervoso.

	<b>Parassimpático</b>	<b>Simpático</b>
Coração	Bradycardia	Taquicardia
Pressão arterial	Diminui	Aumenta
Brônquios	Contraí	Dilata
Pupila	Contraí	Dilata
Genitais	Ereção	Ejaculação
Atividades digestivas (peristaltismo e produção de secreções digestivas)	Estimula	Inibe





# Capítulo 06. Sistema Muscular

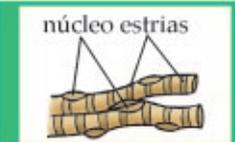
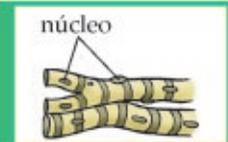
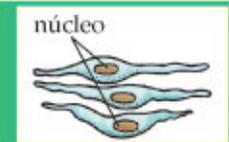
## 1. Movimentos e Músculos

Os movimentos, de fundamental importância na vida da maioria dos animais, são executados com auxílio dos músculos.

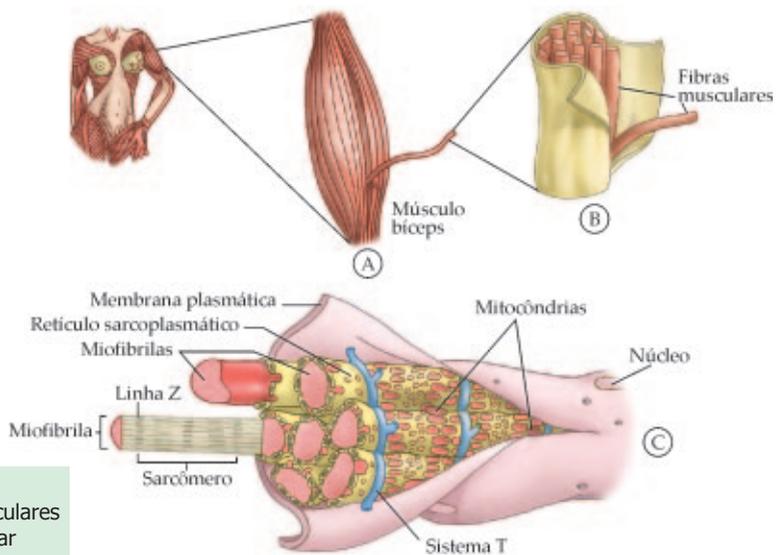
Os músculos responsáveis pelos movimentos, tanto de locomoção quanto dos órgãos internos, são constituídos por tecidos musculares formados por células, chamadas fibras musculares, com grande capacidade de contração ao serem estimuladas.

## 2. Tecidos Musculares

Os tecidos musculares originam-se a partir do mesoderma embrionário e nos vertebrados classificam-se em estriado esquelético, estriado cardíaco e não-estriado (ou liso).

			
Característica	Estriado esquelético	Estriado cardíaco	Não-estriado (liso)
Célula	cilíndrica	cilíndrica	fusiforme
Estrias	presentes	presentes	ausentes
Núcleo	vários, periféricos	um ou dois, centrais	um, central
Contração	rápida, voluntária	rápida, involuntária	lenta, involuntária
Localização	ligados ao esqueleto	coração (miocárdio)	parede de órgãos ocos

Os músculos convertem energia química em energia mecânica. Um músculo, como o bíceps, é formado por um feixe de milhares de células musculares estriadas – as fibras musculares, unidas por tecido conjuntivo.



- A) Músculo
- B) Conjunto de fibras musculares
- C) Detalhe da fibra muscular

Mergulhadas no citoplasma das fibras musculares, estão milhares de unidades estruturais cilíndricas chamadas **miofibrilas**, localizadas longitudinalmente nas células. Por sua vez, cada miofibrila é constituída por **sarcômeros**. Cada sarcômero possui de dois a três micrômetros de comprimento.

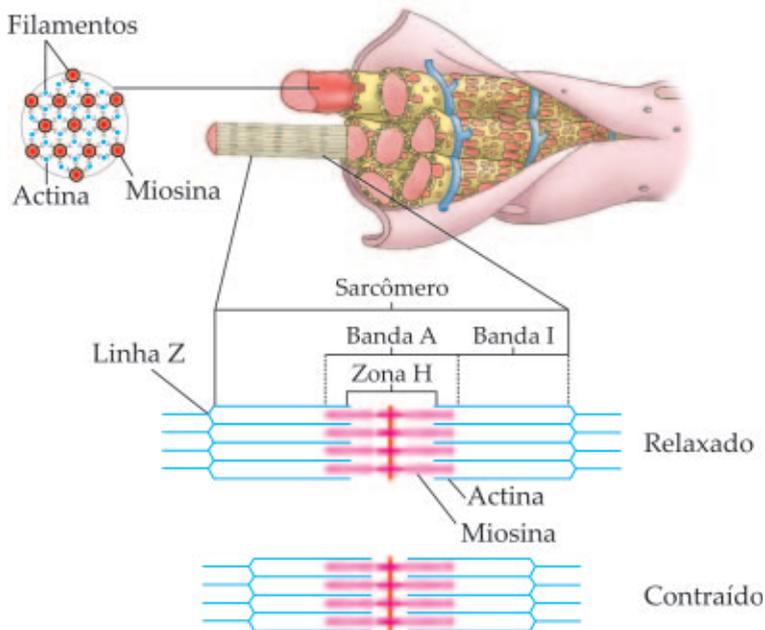
As células musculares possuem, ainda, grande número de mitocôndrias.

### 3. Contração Muscular

Segundo a teoria mais aceita, a contração muscular se dá graças ao deslizamento dos filamentos de actina sobre os filamentos de miosina. Como os filamentos de actina estão ancorados na linha Z, seu deslizamento provoca encurtamento do sarcômero e, conseqüentemente, de toda a miofibrila. Assim, a fibra muscular se contrai.

As moléculas de miosina possuem extremidades globulares, que funcionam como sítio de ligação entre a miosina e a actina. Funcionam, ainda, como enzima, na decomposição do ATP em ADP, o que fornece energia para a contração.

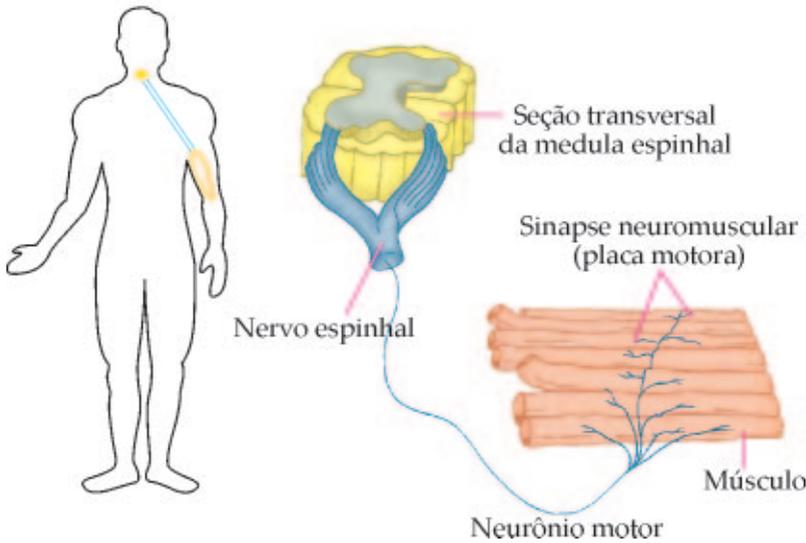
Essa capacidade de decomposição do ATP é conhecida por atividade ATPásica.



A organização do sarcômero com os filamentos de actina e miosina.

A contração muscular é desencadeada por impulsos que chegam ao terminal do axônio em sinapse com a fibra muscular (na placa motora). A alteração de permeabilidade provocada pelo neuro-transmissor liberado pela terminação do axônio faz com que o

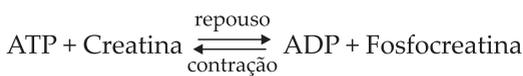
retículo endoplasmático libere para o citoplasma da célula íons cálcio e magnésio armazenados, que facilitam a quebra do ATP em ADP, e as subseqüentes interações entre actina e miosina.



### 3.1. Energética da Contração

Durante o repouso, a célula muscular produz fosfocreatina, a partir da creatina ligada a um fosfato, armazenando a energia liberada na oxidação da glicose. Pouquíssimo ATP é armazenado na célula muscular. O ATP produzido na oxidação da glicose é empregado na conversão de creatina em fosfocreatina.

A fosfocreatina é a fonte de energia para a contração muscular.



Outra particularidade da célula muscular é o fato de não depender exclusivamente do fornecimento sanguíneo de glicose, pois possui depósitos de glicogênio.

Os músculos possuem, ainda, a **mioglobina**, proteína de estrutura semelhante à hemoglobina, e que parece funcionar como uma reserva de oxigênio. É ela que dá a cor vermelha aos músculos.

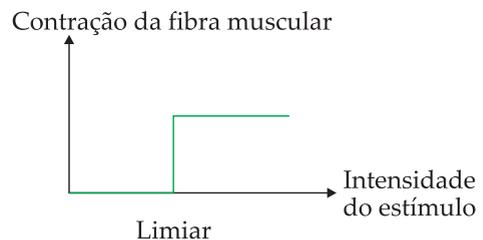
Quando o trabalho muscular é excessivo e há deficiente suprimento de oxigênio, o ácido pirúvico, resultante da glicólise, é convertido em ácido lático e se acumula no músculo. Isso

acarreta dor muscular ou fadiga muscular, certa incapacidade de responder a estímulos.

Caso esse acúmulo de ácido lático seja intenso, a acidificação (diminuição do pH) decorrente provoca aumento na concentração de íons  $\text{Ca}^{++}$  no citoplasma das células e conseqüente contração. Tal contração é involuntária, vigorosa e dolorosa, sendo designada por cãibra. Vale ressaltar que esta é uma das possíveis causas de cãibra.

### 3.2. Biomecânica da Contração

As fibras musculares isoladas seguem a **lei do tudo ou nada**, ou seja, em resposta a um estímulo, elas se contraem ou não, e se o fazem, é sempre com a mesma intensidade. A menor intensidade de estímulo para que uma célula se contraia é chamada **limiar de excitação**.

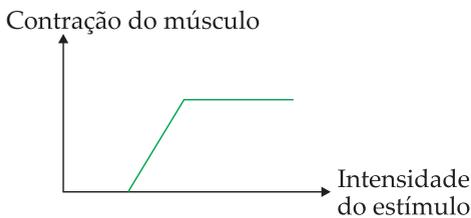


Uma vez alcançado o limiar de excitação, por mais que se aumente a intensidade do estímulo, a intensidade da contração obtida será constante.

A contração do músculo como um todo depende do número de fibras que se contraem.

Como diferentes células possuem diferentes limiares, aumentando a intensidade do estímulo, aumenta o número de células que se contraem, o que se chama de **recrutamento**. É importante notar que, embora o número de células que se contraem aumente, a intensidade de contração de cada célula individual é constante, uma vez ultrapassado o seu limiar.

Entre o instante que se aplica o estímulo e o instante em que se inicia a contração, existe um **período de latência**.

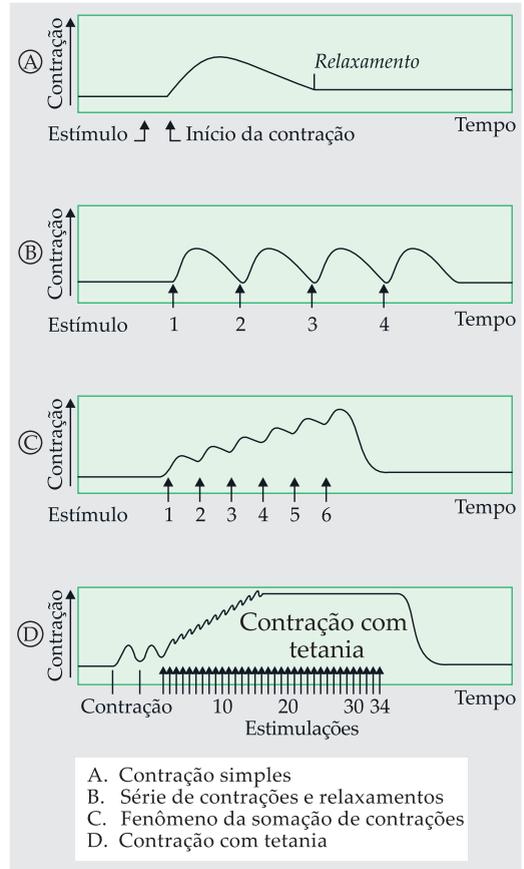


Caso um segundo estímulo seja aplicado sem que o músculo tenha obtido relaxamento, a segunda contração terá maior intensidade que a primeira. Se os estímulos se repetirem a intervalos muito curtos, não há relaxamento, mas uma contração contínua chamada **tetania** ou **tétano perfeito**.

Com a manutenção dos estímulos, a contração, após certo tempo, irá perdendo amplitude gradativamente devido à fadiga muscular.

Isto é o que ocorre, por exemplo, quando permanecemos por muito tempo com os braços erguidos em posição horizontal.

Os gráficos a seguir mostram respostas diferentes dos músculos sob diferentes estímulos.





## Capítulo 07. Sistema Endócrino

### 1. Tecido Epitelial de Revestimento e Glandular

Os tecidos epiteliais caracterizam-se por apresentarem células justapostas, firmemente aderidas umas às outras, com escasso interstício. A substância intercelular é rica em **ácido hialurônico**, que age como um cimento, aumentando a adesão entre as células.

Com base em sua estrutura e função, os tecidos epiteliais podem ser classificados em dois grandes grupos: os de revestimento e os glandulares.

Os epitélios de revestimento se associam com as seguintes funções:

- proteção contra agravos físicos e químicos, além de serem barreiras eficientes contra a entrada de microrganismos;
- absorção de nutrientes, diretamente no tegumento ou no interior do tubo digestório;
- trocas gasosas com o meio pelo tegumento, nas brânquias ou nos pulmões;
- auxílio à manutenção da temperatura, evitando a perda de água e de calor, ou

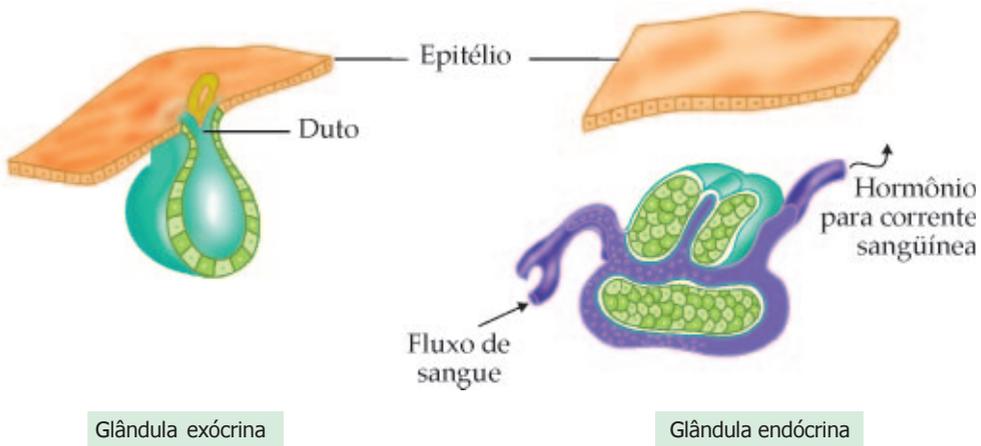
graças a mecanismos mais elaborados como a transpiração.

Os epitélios glandulares constituem as glândulas, que são classificadas, de acordo com o destino de suas secreções, em **exócrinas**, **endócrinas** e **anfícrinas**.

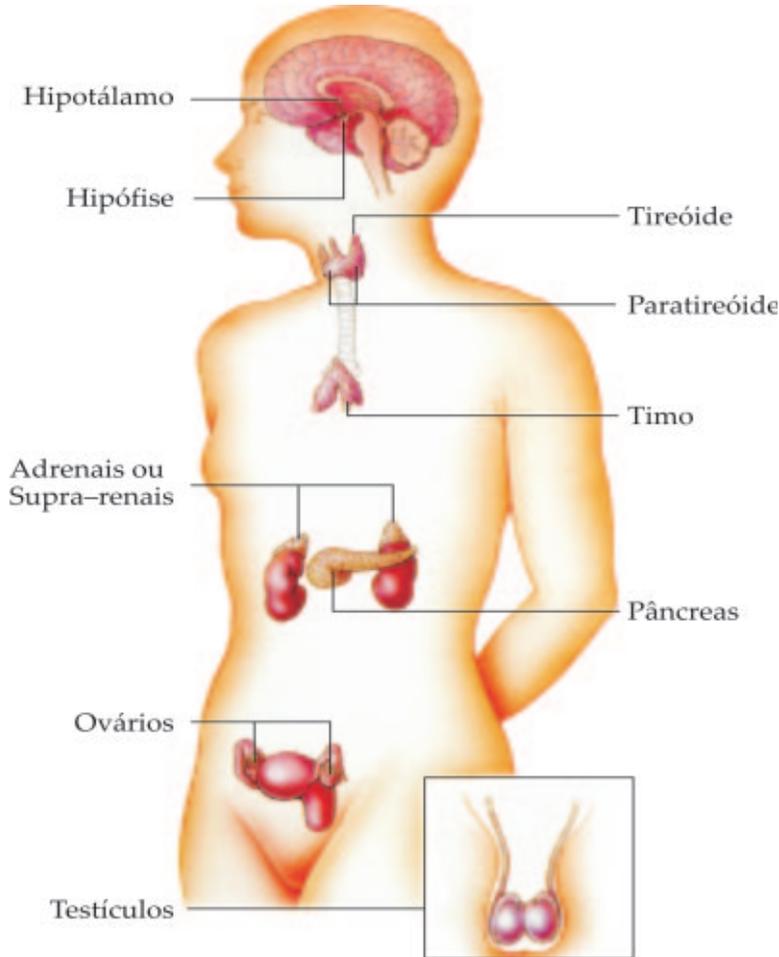
As glândulas exócrinas lançam sua secreção para o meio externo, ou numa cavidade, através de um duto. É o caso da glândula sudorípara, que produz o suor lançado na pele.

As glândulas endócrinas secretam seus produtos na corrente sanguínea. Essa secreção é chamada **hormônio**. São mensageiros químicos, distribuídos pela corrente sanguínea, que atuam alterando o metabolismo de certas células. Como são dispersos pelo sangue, todas as células estão igualmente expostas a eles, embora apenas algumas reajam à sua presença (nos "órgãos-alvo").

Quimicamente, os hormônios constituem um grupo bastante heterogêneo. Podem ser proteínas, peptídeos, aminoácidos ou esteróides.



Existem glândulas que produzem hormônio e, também, secreção exócrina: são as glândulas mistas ou anfícrinas. O pâncreas, por exemplo, produz o suco pancreático, eliminado no duodeno, e produz dois hormônios: a insulina e o glucagon. A figura a seguir mostra a localização das principais glândulas no ser humano.



Alguns invertebrados produzem hormônios. Os secretados pelos artrópodes são os mais conhecidos. A **muda**, substituição do exoesqueleto de quitina, é determinada pela **ecdisona**. O **hormônio da juventude** inibe a ocorrência da metamorfose e a chegada à maturidade sexual. Alguns hormônios de crustáceos interferem na distribuição de pigmentos na superfície do corpo, interferindo na cor do animal.

O conjunto de glândulas endócrinas dos vertebrados forma o sistema endócrino que,

por meio da ação hormonal, controla o metabolismo, o crescimento e o desenvolvimento do organismo. As principais glândulas endócrinas dos vertebrados, e seus hormônios, estão descritas a seguir.

## 2. Hipófise ou Pituitária

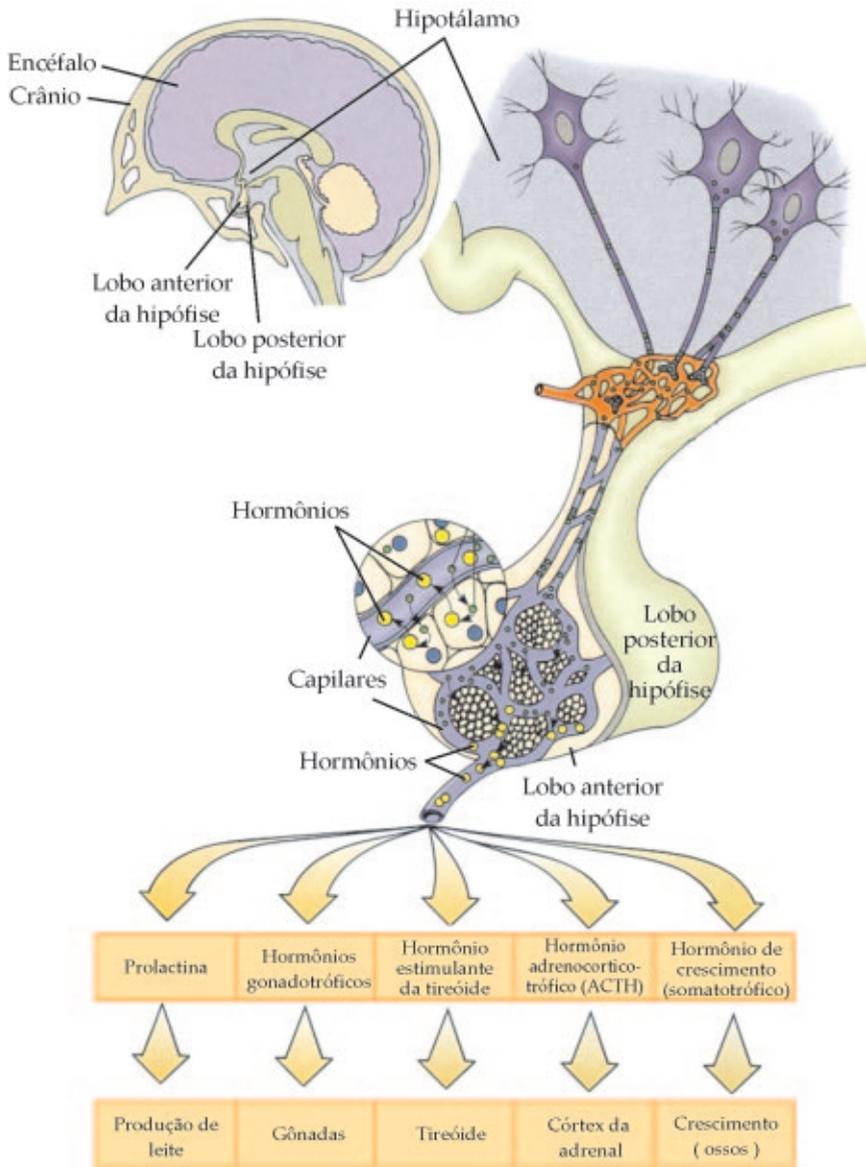
A hipófise é a glândula “mestra” do sistema endócrino, pois controla o funcionamento de diversas glândulas como a tireóide, as supra-renais e as gônadas, pela ação dos hormônios tróficos.



A hipófise situa-se na base do cérebro e tem o tamanho aproximado de um grão de ervilha. Possui o lobo anterior ou adenoipófise e o lobo posterior ou neuroipófise, com origens embriológicas distintas e produção de hormônios diferentes. Entre os dois lobos, encontra-se a hipófise intermédia que, em alguns peixes, anfíbios e répteis, produz o hormônio melanotrófico (MSH) que modifica a pigmentação da pele.

Os hormônios secretados pela adenoipófise são: folículo estimulante (FSH), luteinizante (LH), de crescimento (GH), prolactina, tireotrófico (TSH) e adrenocorticotrófico (ACTH).

A neuroipófise armazena e libera os hormônios ocitocina e antidiurético (ADH), produzidos pelo hipotálamo, uma das regiões do sistema nervoso central que controla as glândulas endócrinas, a sede, a fome, as gônadas e a temperatura corporal.



### 2.1. Hormônio Folículo-Estimulante (FSH)

Atua sobre as gônadas – ovários e testículos –, no processo da gametogênese feminina e masculina respectivamente

### 2.2. Hormônio Luteinizante (LH)

Atua sobre as gônadas, estimulando a produção de hormônios como a testosterona, e no processo da ovulação.

O FSH e o LH são chamados **hormônios gonadotróficos**, pois agem nas gônadas.

### 2.3. Hormônio de Crescimento (GH) ou Somatotrófico (STH)

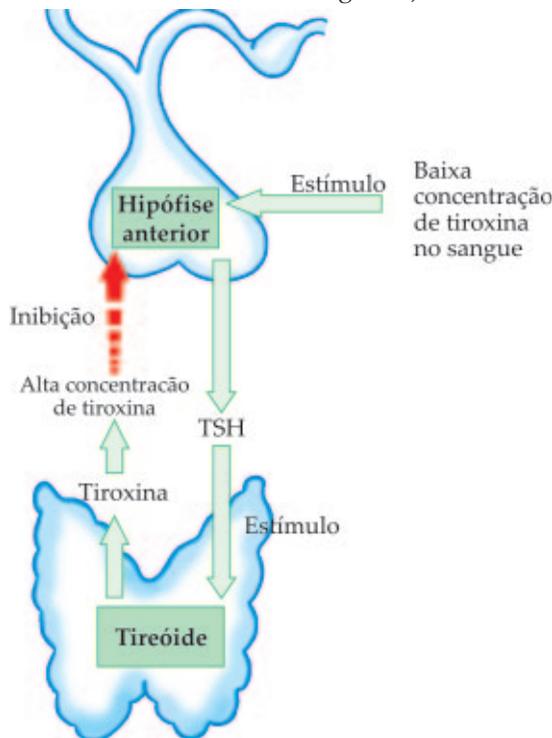
Promove o desenvolvimento de ossos e músculos. Aumenta a utilização de gorduras e diminui a captação de glicose pelas células. Se houver déficit desse hormônio na infância, o resultado será o **nanismo**. O excesso causa o **gigantismo**. No adulto, tal excesso não leva ao gigantismo, já que os ossos não respondem ao hormônio como na criança. Surge a **acromegalia**, caracterizada pelo aumento em espessura dos ossos das mãos, dos pés e da mandíbula.

### 2.4. Prolactina ou Hormônio Lactogênico

Estimula a secreção de leite pela glândula mamária. Sua produção se inicia logo após o parto e persiste enquanto durar o estímulo de sucção da mama.

### 2.5. Hormônio Tireotrófico (TSH)

Age sobre a tireóide, estimulando a produção do hormônio tiroxina. Entre a hipófise e a tireóide, há um sensível mecanismo de autocontrole. Quando a concentração sanguínea de tiroxina (hormônio produzido pela tireóide) diminui, aumenta a produção de TSH, o que estimula a tireóide a produzir tiroxina e normalizar sua concentração. Por outro lado, quando a concentração de tiroxina está alta, inibe a produção de TSH. Assim, a tireóide deixa de ser estimulada, diminuindo a secreção de tiroxina. Como se observa, a resposta do órgão-alvo (a tireóide) inibe o órgão estimulador (a hipófise). Trata-se de um mecanismo de retroalimentação negativa (*feedback* negativo).





## 2.6. Hormônio Adrenocorticotrófico (ACTH)

Estimula a produção de hormônios pela camada cortical da glândula supra-renal (hormônios corticóides). Entre a hipófise e a supra-renal existe um mecanismo regulador idêntico ao anteriormente descrito para a tireóide (retroalimentação negativa).

## 2.7. Ocitocina

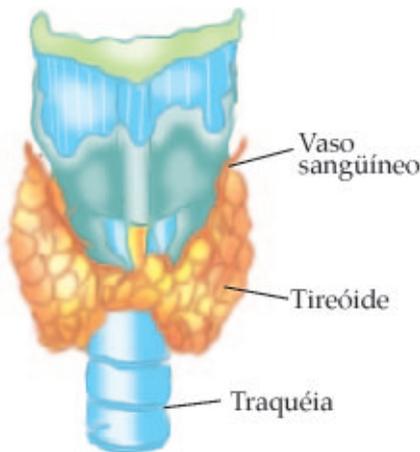
Desencadeia o trabalho de parto por promover as contrações uterinas. Também é responsável pelas contrações que levam à eliminação do leite materno no momento da amamentação.

## 2.8. Hormônio Antidiurético (ADH) ou Vasopressina

Aumenta a reabsorção de água pelos rins, diminuindo o volume urinário e tornando a urina mais concentrada. É produzido quando a concentração do plasma sangüíneo aumenta, sinal de que há déficit de água no organismo. Em outros vertebrados, que não o homem, também eleva a pressão arterial. O déficit desse hormônio provoca perdas enormes de água pela urina; o doente pode urinar volumes assombrosos, como de 10 a 15 litros por dia. A compensação é feita pela ingestão de quantidades equivalentes de água. Tal distúrbio é chamado **diabetes insípido**.

# 3. Tireóide

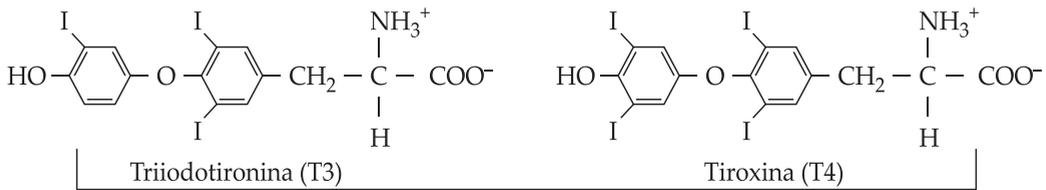
Esta glândula localiza-se na região do pescoço, anteriormente à traquéia.



Mulher com bócio endêmico

## 3.1. Tiroxina e Triiodotironina

Sob a ação do TSH (hormônio tireotrófico), a tireóide produz os hormônios tiroxina e triiodotironina, formados por um aminoácido combinado com átomos de iodo. A falta de iodo, na alimentação, provoca aumento acentuado no tamanho da glândula tireóide, caracterizando o bócio endêmico. Os hormônios tireoidianos aceleram os processos de oxidação intracelular e os mecanismos de síntese, elevando a taxa metabólica. Também provocam aumento no consumo de oxigênio e de glicogênio pelas células.



Hormônios da tireóide

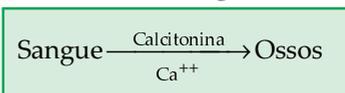
O excesso desses hormônio, ou **hipertireoidismo**, está associado com nervosismo, exoftalmia, pressão arterial e frequência cardíaca elevadas, perda de peso etc. A falta (**hipotireoidismo**) acarreta pele seca, intolerância ao frio, apatia e tendência à obesidade.

O **hipotireoidismo congênito** leva à diminuição do crescimento, retardo no desenvolvimento físico e mental (**cretinismo**) e atraso (ausência) da maturidade sexual. O diagnóstico precoce dessa doença em bebês pode ser feito logo nos primeiros dias de vida, para possibilitar o início oportuno do tratamento de complementação com hormônio. O exame laboratorial que se faz com essa finalidade também é usado para a detecção da fenilcetonúria, doença hereditária que provoca retardo mental. O método de coleta faz com que o teste seja conhecido por "exame do pezinho", embora habitualmente a amostra de sangue seja colhida em veia do dorso das mãos dos bebês.

A metamorfose dos anfíbios (da fase de larva para a fase adulta) é controlada pela tireóide. A retirada da tireóide da larva impede a metamorfose, enquanto a administração de extratos tireoideanos nos girinos provoca metamorfose precoce, que origina adultos pequenos.

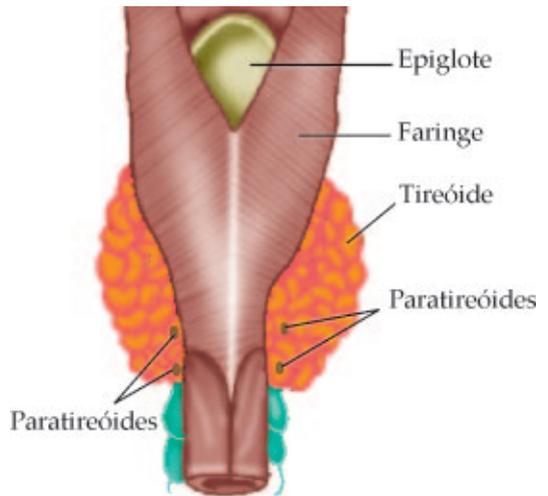
### 3.2. Calcitonina

A tireóide produz, ainda, o hormônio calcitonina, que inibe a liberação de cálcio dos ossos e aumenta a incorporação de cálcio nelas. A calcitonina diminui, portanto, a concentração de cálcio no sangue.

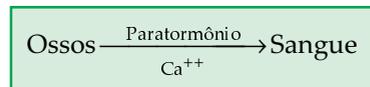


## 4. Paratireóides

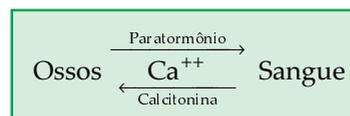
Estas glândulas são em número de quatro e estão localizadas na face posterior da tireóide.



As paratireóides secretam o **paratormônio**, que regula a concentração de cálcio e de fósforo no sangue. O paratormônio tem três funções principais: estimula a remoção de cálcio dos ossos para o sangue; aumenta a absorção de cálcio pelo intestino; diminui a eliminação de cálcio pelos rins. O resultado dessas ações é o aumento da concentração de cálcio no sangue.



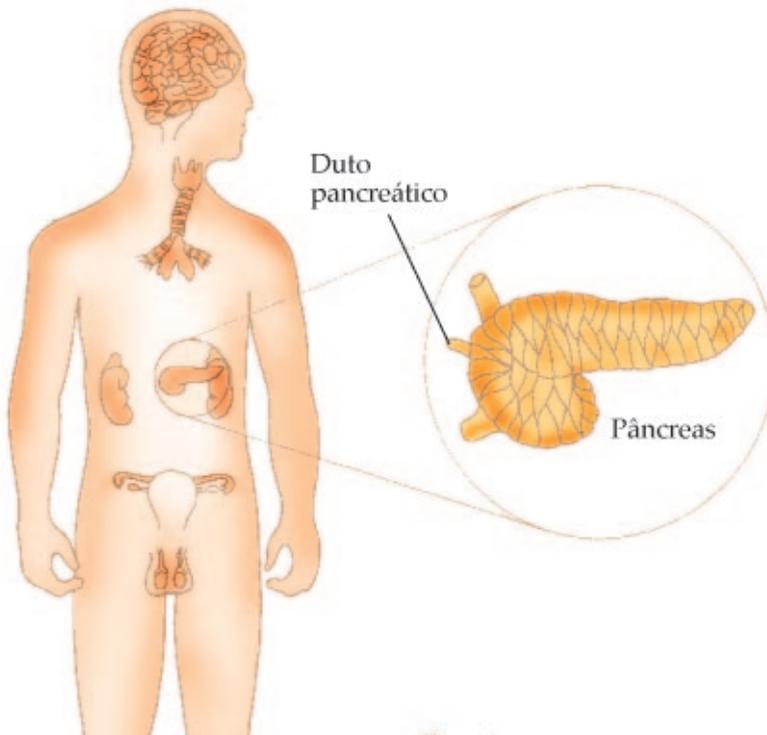
Como se nota, a calcitonina e o paratormônio têm ação antagônica sobre a concentração de cálcio no sangue.





## 5. Pâncreas

O pâncreas é uma glândula mista (anfícrina), pois produz secreção exócrina (o suco pancreático, que contém enzimas digestivas e é lançado no intestino delgado) e produz também secreção endócrina (hormônios). As células produtoras de hormônios agrupam-se em aglomerados chamados **ilhotas de Langerhans**. Nestas, encontram-se as **células-alfa**, produtoras de glucagon, e as **células-beta**, produtoras de insulina.



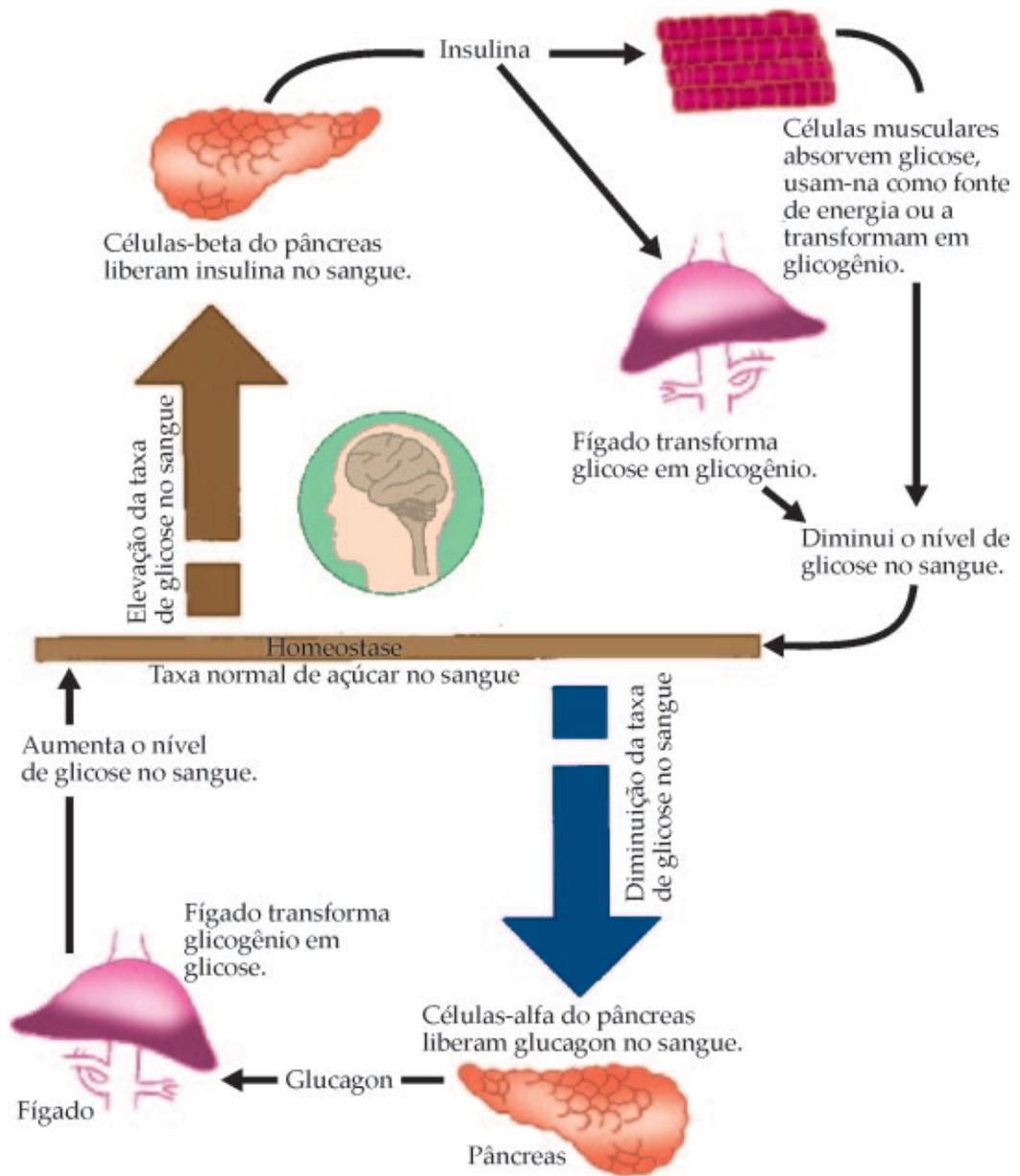
### 5.1. Glucagon

O glucagon estimula a quebra do glicogênio, armazenado principalmente no fígado, liberando glicose para o sangue, o que eleva a glicemia (concentração de glicose no plasma sanguíneo). O glucagon é um hormônio hiperglicemiante do sangue.

### 5.2. Insulina

A insulina estimula a entrada de glicose nas células, a partir do sangue, e sua conversão em glicogênio, o que diminui a glicemia. Restringe a utilização de gorduras pelas células. A insulina é um hormônio hipoglicemiante do sangue.

O diabetes melito é ocasionado pela deficiência na produção de insulina. A concentração de glicose no sangue se eleva muito, o que determina a perda de glicose pela urina. Por ação osmótica, aumenta também a perda urinária de água. Como compensação, é elevada a ingestão de água.

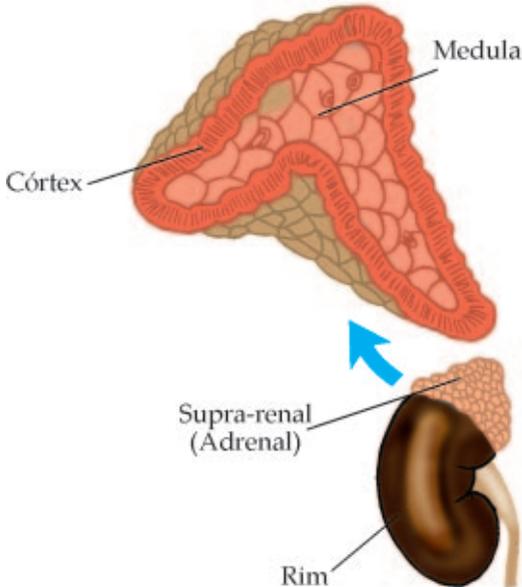


A homeostase do metabolismo de glicose no organismo



## 6. Adrenais (ou Supra-Renais)

Estas glândulas estão situadas sobre os rins e possuem duas camadas distintas: a camada externa é chamada **córtex** e a mais interna, **medular**.



O córtex secreta três tipos de hormônios: os glicocorticóides, os mineralocorticóides e os androgênios. A medula secreta a adrenalina e a noradrenalina.

### 6.1. Glicocorticóides

Estimulam a produção de glicose a partir de gorduras e proteínas. Agem, também, na supressão das inflamações. O mais potente representante desse grupo é o **cortisol**.

### 6.2. Mineralocorticóides

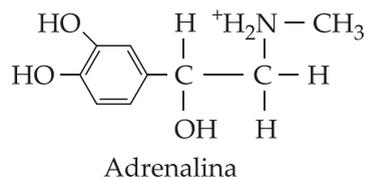
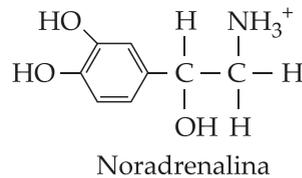
Aumentam a retenção de sódio e água pelos rins, elevando a pressão arterial. Aumentam a perda urinária de potássio. O principal componente desse grupo é a **aldosterona**.

### 6.3. Androgênios

Determinam o surgimento e a manutenção de características sexuais masculinas (barba, pêlos no corpo, tom de voz etc.). Nas mulheres, em condições normais, sua ação é suplantada pela ação dos hormônios femininos.

### 6.4. Adrenalina e Noradrenalina

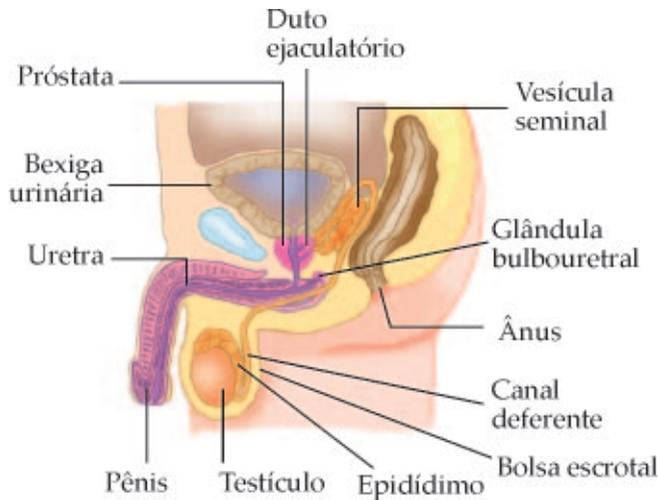
Preparam o corpo para lidar com situações de emergência, desencadeiam as reações de estresse, aumentam a frequência cardíaca, aumentam a pressão arterial, dilatam os brônquios e as pupilas, provocam constrição das arteríolas que chegam à pele (palidez e pele fria) e eriçamento dos pêlos.



## Capítulo 08. Reprodução

### 1. Sistema Genital Masculino

O sistema genital masculino é constituído por pênis e bolsa escrotal, externamente, e testículos, epidídimo, canal deferente, ducto ejaculatório, uretra, vesículas seminais, próstata e glândula bulbouretral, internamente.



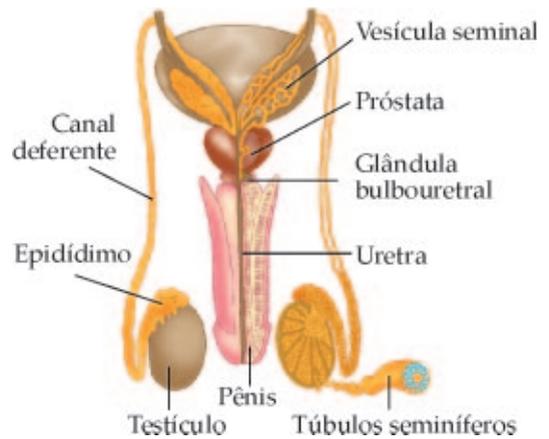
O testículo do homem, além das células precursoras dos espermatozoides, possui células com função endócrina. São as células intersticiais (ou células de Leydig), produtoras de testosterona.

O testículo fica na bolsa escrotal, cuja temperatura se mantém cerca de 2 °C inferior à temperatura abdominal.

A migração dos testículos, da cavidade abdominal, onde surge, até a bolsa escrotal, dá-se no final da gestação ou nos primeiros meses de vida extra-uterina, por estímulo da testosterona. A permanência dos testículos na cavidade abdominal (**criptorquidia**) pode levar à esterilidade, devendo ser tratada com medicamentos ou com cirurgia.

Os espermatozoides são produzidos nos túbulos seminíferos, passando daí para o epidídimo. Deste, parte o canal deferente, que passa para a cavidade abdominal, atravessa

a vesícula seminal e a próstata, recolhendo suas secreções que, misturadas aos espermatozoides, constituem o esperma.



Sistema genital masculino

O pênis tem por função depositar o esperma no sistema genital feminino.



O pênis é formado por três massas de tecido esponjoso erétil. A ereção do pênis deve-se ao enchimento sanguíneo deste tecido.

Cada ejaculação de um homem adulto normal contém cerca de 300 milhões de espermatozoides, que mantêm a capacidade fertilizadora por cerca de 24 horas.

A testosterona é um esteróide com potente ação androgênica, importante no desenvolvimento dos genitais externos e no aparecimento de características sexuais secundárias.

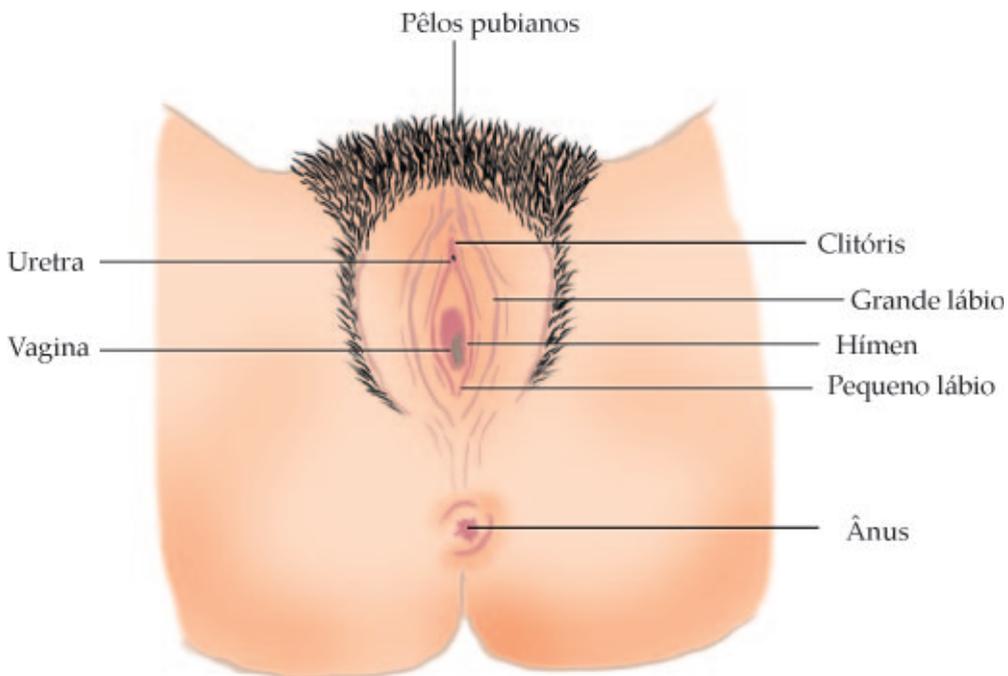
A produção de testosterona é regulada pelo LH, produzido pela hipófise. Outro hormônio da hipófise, o FSH, estimula a produção de espermatozoides.

Por estimular o desenvolvimento da massa muscular, alguns derivados da testosterona são utilizados por atletas: são os **esteróides anabolizantes**, de uso condenável pelos numerosos e graves efeitos colaterais que determinam (tumor de testículos, esterilidade, lesões do fígado etc.).

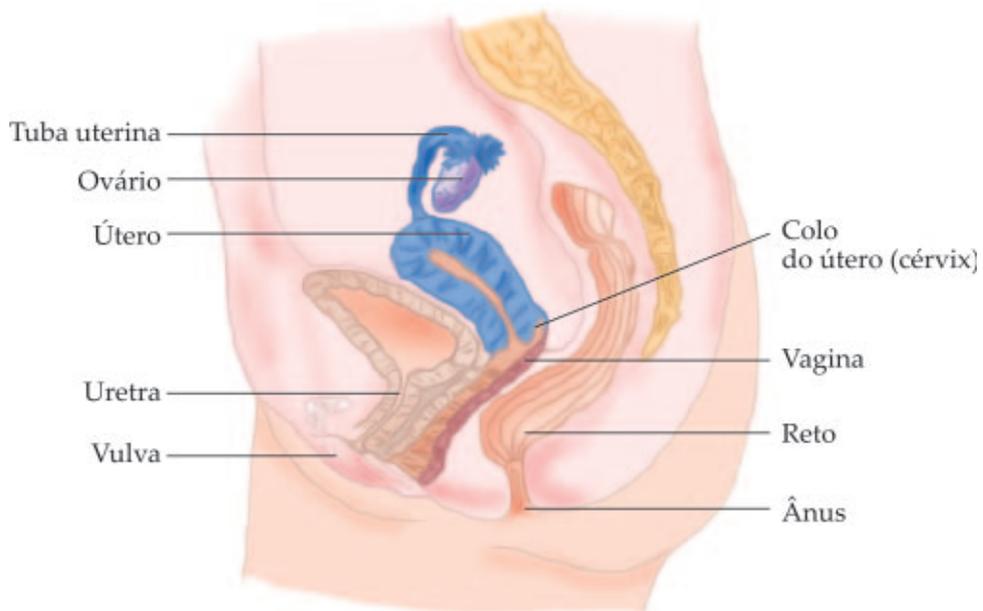
## 2. Sistema Genital Feminino

A genitália externa do sistema genital feminino é constituída por pequenos e grandes lábios da vagina e pelo clitóris.

A genitália interna é constituída por ovários, tubas uterinas, útero e vagina.



Vista externa do sistema genital feminino



Vista lateral do sistema genital feminino

Os ovários são as gônadas femininas produtoras de gametas. Na época do nascimento, cada ovário da mulher contém cerca de 200.000 ovócitos primários, já na prófase I da meiose.

Permanecem assim até que a mulher alcance a maturidade sexual, quando, por ação do FSH, completam a divisão. De todos os ovócitos, 300 a 400 amadurecem e se transformam em óvulos, um a cada 28 dias, em média.

O ovócito e as células que o envolvem constituem o folículo ovariano. No final de seu desenvolvimento, o folículo se dirige para a superfície do ovário e se abre, soltando o gameta (ovulação). Este, então, é varrido para o interior das tubas uterinas, onde normalmente ocorre a fecundação.

O gameta feminino permanece viável por cerca de 24 horas depois de ter sido ejetado do folículo. Se for fertilizado, em três a quatro dias alcança o útero e, no sexto ou sétimo dia, implanta-se no endométrio. Se não for fecundado, morre.

A ovogênese, na fêmea, é cíclica, ao contrário da espermatogênese, que é contínua.

Esse ciclo se deve à ação dos hormônios gonadotróficos da hipófise: o LH e o FSH.

Os estrógenos são hormônios sexuais femininos. São produzidos pelo folículo ovariano em desenvolvimento, sob estímulo do FSH.

Após a ruptura do folículo maduro, esse se transforma no corpo lúteo, que passa a produzir quantidades crescentes de progesterona e decrescentes de estrógeno. Depois de cerca de 10 dias de intensa atividade, o corpo lúteo inativa-se, transformando-se no **corpo albicans**.

O útero é um órgão muscular, com forma de pêra. É revestido pelo endométrio, cuja camada superficial se destaca durante a menstruação. A vagina é um tubo que vai do útero ao exterior, recebe o pênis e é o canal do nascimento.



### 3. Gametogênese

#### 3.1. Introdução

Gametogênese é o processo de formação dos gametas, células que se fundem aos pares (um masculino e um feminino) para originar um novo indivíduo, nos seres com reprodução sexuada. Nos animais, ocorre em órgãos especiais chamados **gônadas**, que também possuem função endócrina, pois secretam os hormônios sexuais.

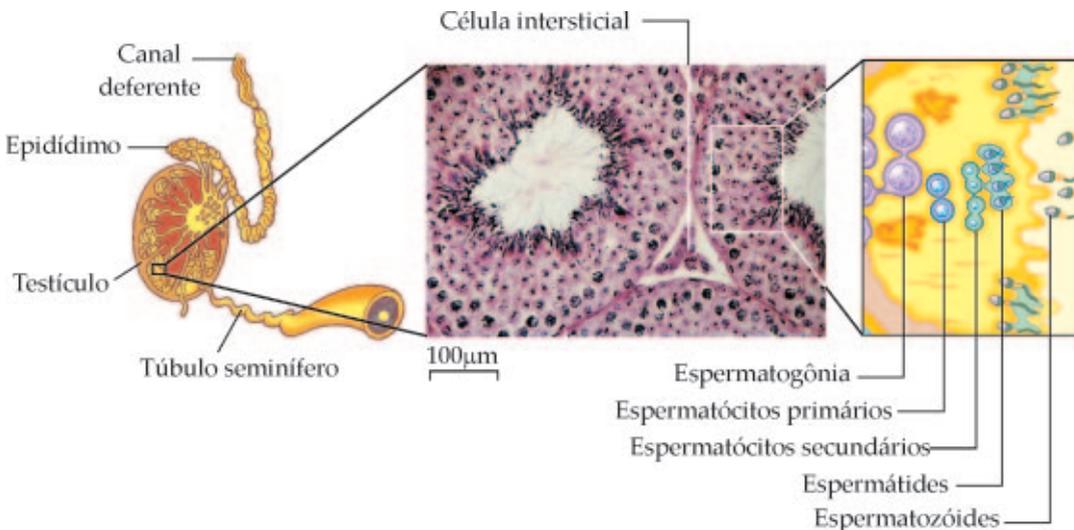
O evento primordial da gametogênese é a **meiose**, que reduz à metade a quantidade de cromossomos, originando células haplóides. A fusão de dois gametas haplóides, na fecundação, reconstitui a quantidade diplóide da espécie.

Em raros casos, não ocorre meiose na formação dos gametas. Caso um óvulo de abelha se desenvolva sem ser fecundado por um espermatozóide (**partenogênese**), irá dar origem a um indivíduo haplóide, sempre do sexo masculino. Como o zangão possui todas as suas células com **n** cromossomos, a produção de gametas **n** se dá por mitose.

Em linhas gerais, a gametogênese masculina (**espermatogênese**) e a gametogênese feminina (**ovogênese** ou **ovulogênese**) seguem as mesmas etapas. A seguir, serão detalhadas estas etapas e as principais diferenças entre os dois processos.

#### 3.2. Espermatogênese

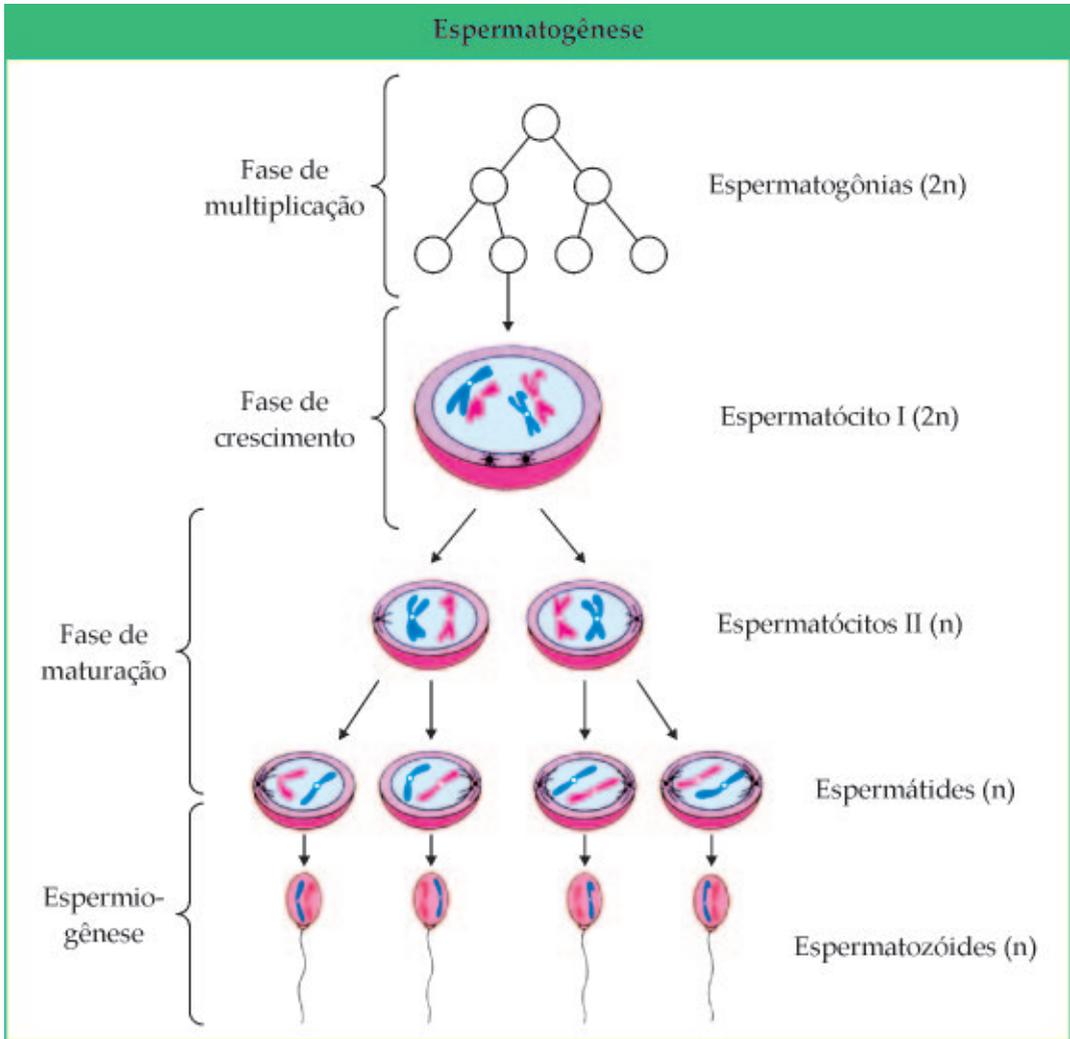
Ocorre nas gônadas masculinas, os **testículos**. Além de gametas, secretam a testosterona, hormônio sexual masculino. As células dos testículos estão organizadas ao redor dos **túbulos seminíferos**, onde os espermatozóides são produzidos. A testosterona é secretada pelas células intersticiais (ou células de Leydig). As células da linhagem germinativa são sustentadas e nutridas pelas células de Sertoli.



Nos mamíferos, os testículos geralmente se encontram fora da cavidade abdominal, na **bolsa escrotal**, porque a espermatogênese se dá em uma temperatura cerca de 2 °C inferior à temperatura corporal.

Dos túbulos seminíferos, os espermatozoides passam para o epidídimo e, daí, para os canais deferentes. Junto com as secreções da próstata e da vesícula seminal, constituem o **esperma** ou **sêmen**, exteriorizado pela uretra, na ejaculação.

A espermatogênese divide-se em quatro etapas:



- 1) **Fase de multiplicação ou proliferação:** tem início na vida intra-uterina e se prolonga praticamente por toda a vida. As células germinativas primordiais do testículo aumentam em quantidade, sofrendo mitoses consecutivas até originarem as **espermatogônias (2n)**.
- 2) **Fase de crescimento:** é curta, no macho. Um pequeno aumento no volume do citoplasma transforma as espermatogônias em **espermatócitos primários**, também chamados **espermatócitos de primeira ordem** ou **espermatócitos I**, células **2n**.



3) **Fase de maturação:** também rápida, envolve a ocorrência da meiose. Após a primeira divisão meiótica, cada espermatócito primário origina dois **espermatócitos secundários (espermatócitos de segunda ordem ou espermatócitos II)**. Como resultam da divisão I da meiose, são células haplóides, embora possuam cromossomos duplicados. Com a ocorrência da segunda divisão meiótica, os dois espermatócitos secundários originam quatro **espermátides (n)**.

4) **Espermio gênese:** é o complexo processo de diferenciação, sem divisão celular, que converte a espermátide, célula haplóide de citoplasma abundante, em **espermatozóide**. A espermátide perde quase todo o seu citoplasma. Grânulos do complexo golgiense fundem-se na extremidade anterior da célula, formando o **acrossomo**, que contém enzimas capazes de perfurar as membranas do óvulo, na fecundação.

Os centríolos migram para a região posterior ao núcleo, e um deles dá origem ao **filamento axial**. Trata-se de um feixe com duas fibras longitudinais no centro e nove pares de microtúbulos que circundam os centrais. Envoltos pela membrana plasmática constituem o **flagelo**, estrutura vibrátil, responsável pela locomoção do espermatozóide.

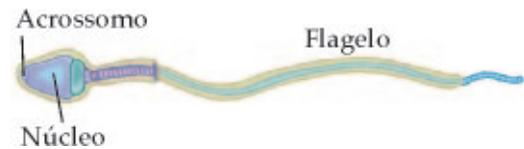
As mitocôndrias se concentram na **peça intermediária**, região de encontro da cabeça com o flagelo, que fornece energia para a locomoção.

As porções descartadas do citoplasma da espermátide são englobadas e digeridas pelas células de Sertoli.

No homem, as espermatogônias são produzidas por quase toda a vida, gastando de 60 a 74 dias para se converterem em espermatozóides. Um homem adulto produz 100 milhões de espermatozóides por dia.

O deslocamento do espermatozóide em direção ao óvulo se dá por batimentos dos

flagelos. Espermatozóides sem flagelo, como os do *Ascaris lumbricoides*, deslocam-se por movimento amebóide.



A organização do espermatozóide

### 3.3. Ovogênese

Nos ovários, as células germinativas primordiais se encontram circundadas pelas células foliculares, formando os **foliculos ovarianos de Graaf**. Além de produzirem os gametas, os ovários secretam dois hormônios: o estrógeno e a progesterona.

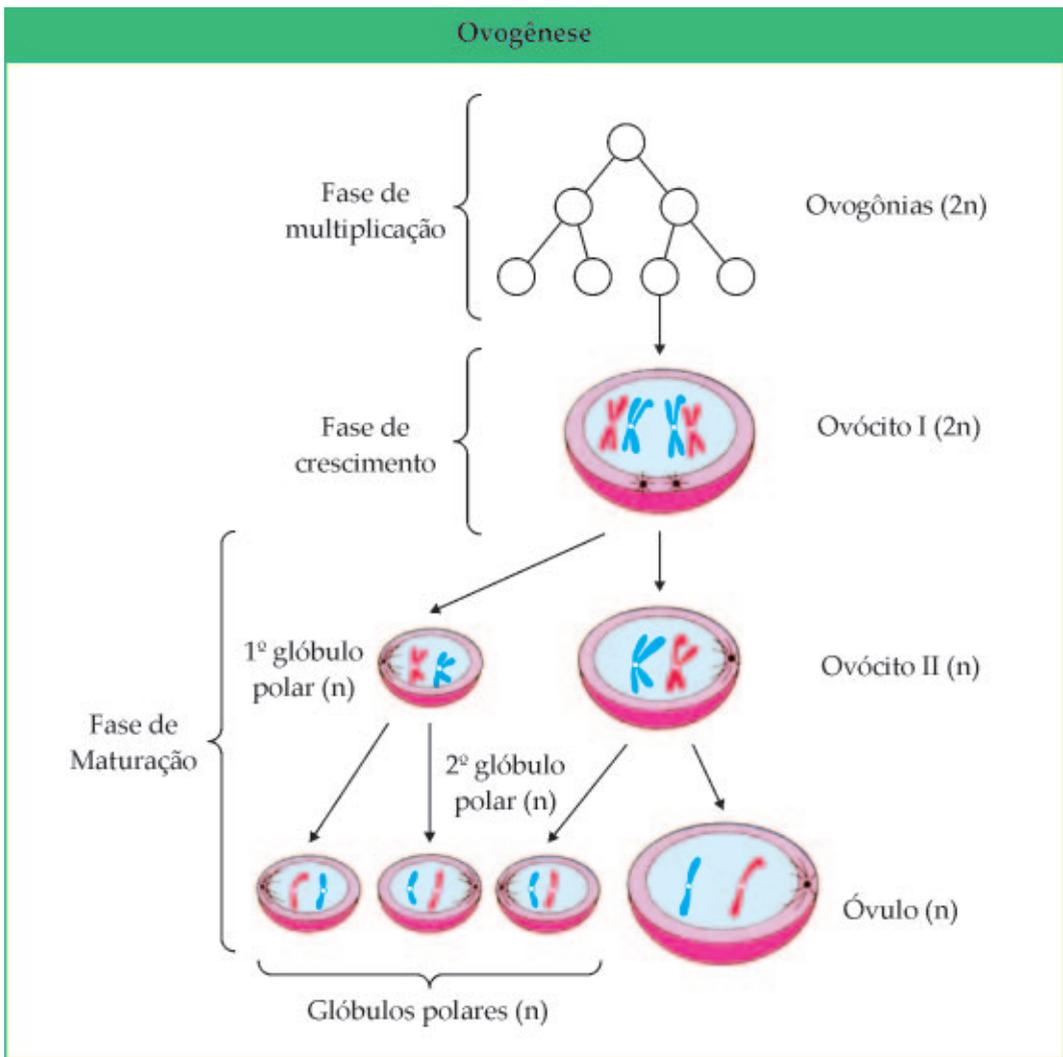
A ovogênese tem três etapas:

- 1) **Fase de proliferação ou multiplicação:** a fase de ocorrência de mitoses das células germinativas primordiais origina as **ovogônias (2n)**. No feto humano, termina no 3º mês de gestação. As ovogônias dão início à sua transformação em **ovócitos primários (2n)**. No nascimento, os ovários das meninas têm aproximadamente 400.000 dessas células.
- 2) **Fase de crescimento:** logo ao surgir, o ovócito primário inicia a meiose, que é interrompida na prófase I. Neste período, há notável aumento do volume celular, com acúmulo de proteínas, gorduras, glicogênio e de vitaminas lipossolúveis no citoplasma. Esse conjunto de nutrientes constitui o **vitelo**, responsável pela nutrição do embrião.
- 3) **Fase de maturação:** dos 400.000 ovócitos primários, apenas de 300 a 400 irão completar a meiose, um a cada período de 28 dias, na mulher. A fase de maturação se inicia quando a fêmea alcança a maturidade sexual. Quando o ovócito primário sofre a primeira divisão meiótica, origina o **ovócito secundário (n)**, célula que

recebe quase todo o citoplasma da célula inicial, e o **primeiro corpúsculo polar** (ou **glóbulo polar**), célula pequena e que se **desintegra** antes de sofrer a divisão II. Quando o ovócito secundário sofre a divisão II da meiose, mais uma vez a divisão do citoplasma é desigual. Uma das células, o **óvulo**, tem bastante citoplasma e vitelo, enquanto a outra, o **segundo corpúsculo polar**, não tem citoplasma. Assim como o primeiro corpúsculo polar, ele também degenera.

A divisão desigual do citoplasma e do vitelo, tanto na primeira como na segunda divisão meiótica, garante que o óvulo maduro tenha material nutritivo suficiente para nutrir o embrião, caso seja fecundado.

Na maioria dos vertebrados, a segunda divisão da meiose só se dá caso tenha ocorrido a fecundação. Curiosamente, portanto, o **verdadeiro gameta feminino é o ovócito secundário**, pois ele se funde com o espermatozóide.





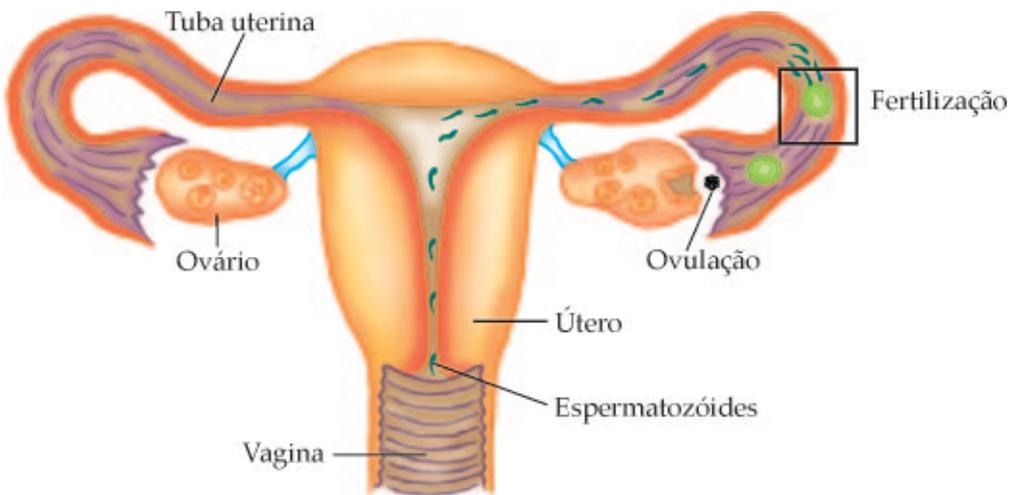
A tabela a seguir resume as principais diferenças entre a ovogênese e a espermatogênese.

	Ovogênese	Espermatogênese
Gametas por gônia	1 óvulo	4 espermatozóides
Fase de multiplicação	curta	longa
Fase de crescimento	longa	curta
Acumulação de vitelo	sim	não
Espermiogênese	não	sim

### 3.4. Fecundação

Os gametas maduros são capazes de se fundir, o que se chama **fecundação** ou **fertilização**. Graças aos batimentos dos flagelos, os espermatozóides nadam em direção ao óvulo. O encontro exige meio líquido, quer seja no interior do corpo da fêmea (**fecundação interna**), quer seja no meio ambiente (**fecundação externa**). Portanto, a fecundação externa se restringe ao meio aquático. Como, nesse caso, todos os gametas são liberados no meio, tanto machos quanto fêmeas produzem gametas em grande quantidade.

O óvulo, além da membrana plasmática, conta com outro revestimento mais externo, a **membrana vitelínica**. Quando um espermatozóide faz contato com o óvulo, a membrana do acrossomo se funde com a membrana do espermatozóide (**reação acrossômica**), liberando enzimas como a hialuronidase, proteases e outras. Essas enzimas dissolvem a membrana vitelínica, abrindo caminho para a penetração do espermatozóide. Com a fusão da membrana do espermatozóide com a membrana do óvulo, o núcleo do espermatozóide penetra no óvulo. Nesse momento, a membrana do óvulo sofre algumas alterações, e a membrana vitelínica se transforma na **membrana de fertilização**, que impede outros espermatozóides de penetrarem nesse óvulo.



O sistema genital feminino e a fecundação

No interior do óvulo, o núcleo do espermatozóide (**pró-núcleo masculino**) e o núcleo do óvulo (**pró-núcleo feminino**) se fundem, cada um com seu lote  $n$  de cromossomos, formando o **zigoto**. No indivíduo assim formado, metade dos cromossomos ( $e$ , logicamente, metade dos genes) tem origem paterna e metade, origem materna.

### 4. Ciclo Menstrual

Em muitas espécies de mamíferos, as fêmeas têm períodos de maior desejo sexual, que se repetem ciclicamente. Trata-se do período do **estro** ou **cio**. Na maioria, há um período de estro por ano. Em cães e gatos, de 3 a 4 por ano. Nos camundongos e nos ratos, ocorrem a cada 4 ou 5 dias. No período de estro, além da elevação do interesse sexual, outras alterações tornam as condições adequadas à fecundação: ovulação, modificações na viscosidade e na composição química das secreções vaginais, alterações no epitélio da vagina e no endométrio (mucosa interna do útero). Modificações no odor fazem com que as fêmeas no cio sejam facilmente identificadas pelos machos.

Nos primatas, as alterações no sistema genital da fêmea também são cíclicas, mas com destaque ao período de sangramento e descamação do endométrio, chamado **menstruação**, daí o nome **ciclo menstrual**. Ao contrário das demais fêmeas de mamíferos, as dos primatas permitem a cópula em qualquer fase do ciclo menstrual.

O corpo da mulher sofre alterações cíclicas, que se repetem com um intervalo de cerca de 28 dias. O ciclo menstrual se inicia no primeiro dia da menstruação, quando a camada

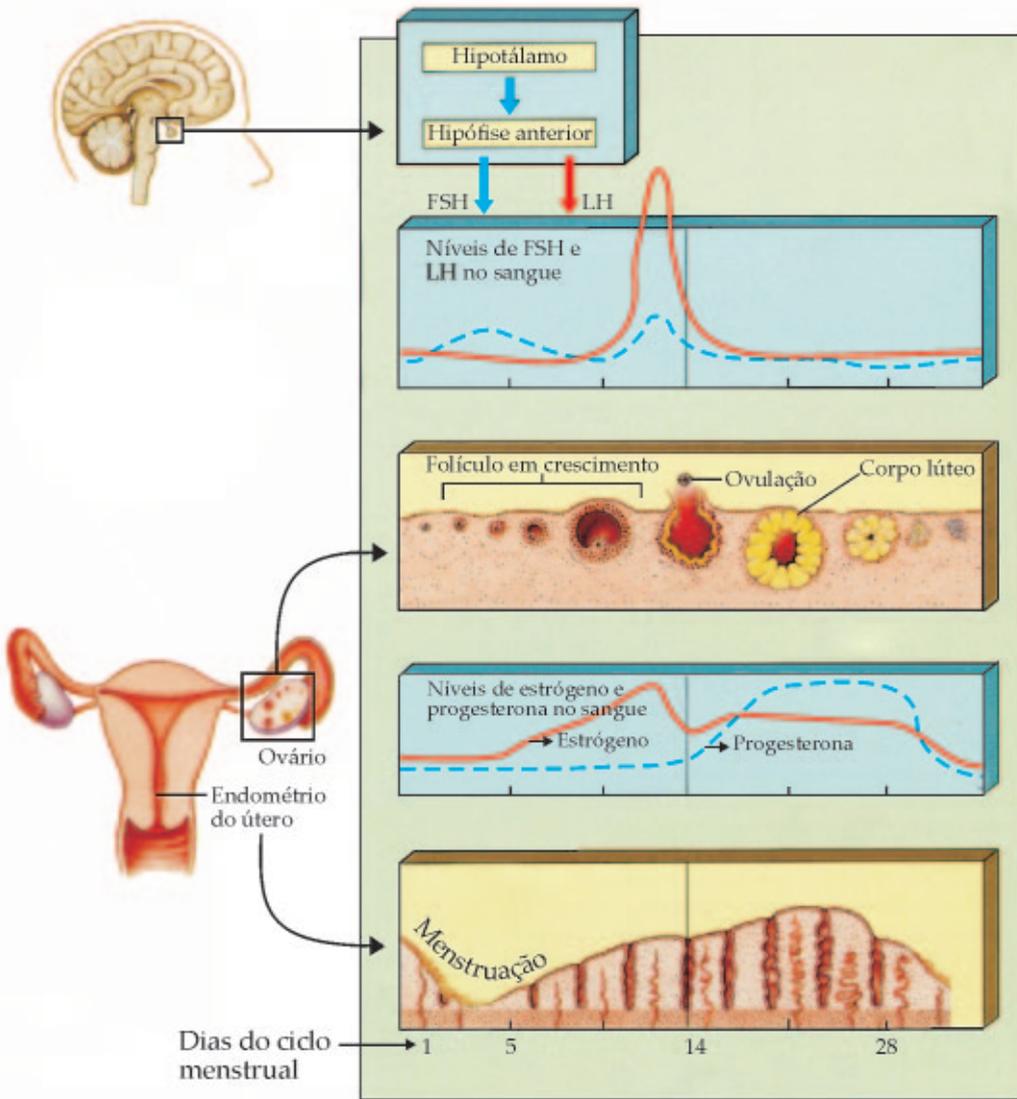
superficial do endométrio se desprende, e a isto se associa uma hemorragia que perdura por 3 a 5 dias. Nesse período, estão baixas as concentrações plasmáticas dos hormônios gonadotróficos hipofisários (LH e FSH) e dos hormônios ovarianos (estrógeno e progesterona).

Por influência do FSH, um folículo ovariano inicia sua maturação, quando o ovócito I continua a primeira divisão meiótica. O folículo produz, então, quantidades crescentes de estrógeno, que estimula a proliferação do endométrio uterino. A elevação na concentração de estrógeno estimula um acréscimo na produção de LH pela hipófise (**retroalimentação positiva**).

O aumento abrupto na concentração desse hormônio, aproximadamente na metade do ciclo, faz com que o folículo maduro se rompa, liberando o ovócito II (ovulação). Trata-se do verdadeiro gameta da mulher, cuja segunda divisão meiótica só ocorre caso seja fecundado por um espermatozóide.

O folículo rompido origina o corpo lúteo (amarelo), que produz progesterona em grande quantidade e pouco estrógeno. A progesterona estimula ainda mais o desenvolvimento do endométrio, onde surgem glândulas produtoras de glicogênio e cujos vasos sanguíneos se dilatam e se entortilham.

Após alguns dias de intensa atividade, o corpo lúteo se transforma em corpo branco (albicans), inativo. O déficit de progesterona causa o descolamento da camada superficial do endométrio, bem como cessa a inibição sobre a hipófise, que volta a produzir o FSH. Por ação deste hormônio, outro folículo inicia a sua maturação e outro ciclo menstrual tem lugar.

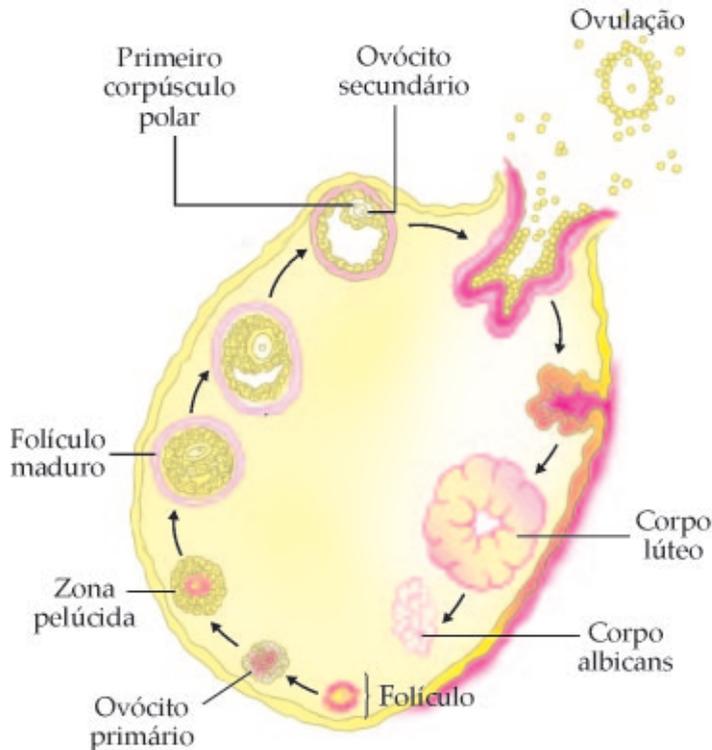


O período fértil da mulher, aquele em que ela pode engravidar, corresponde à ovulação, quando o gameta é liberado do ovário e permanece viável por cerca de 24 horas. Caso ocorra relação sexual neste período, a fecundação (encontro do óvulo e do espermatozóide) irá se dar na trompa ou tuba uterina. Depois de 5 a 7 dias, o embrião se implanta no útero e a placenta começa a se formar. Começa, então, a produção do hormônio gonadotrófico coriônico (HCG), que mantém o corpo lúteo ativo, produzindo progesterona, o que impede a menstruação. À medida que amadurece, a placenta produz estrógeno e progesterona, cujas concentrações permanecem altas durante toda a gestação, inibindo os hormônios hipofisários (FSH e LH) e, conseqüentemente, inibindo nova ovulação neste período.

Os testes laboratoriais para diagnósticos de gestação se baseiam na pesquisa de HCG na urina ou no sangue. A presença desse hormônio confirma a hipótese de gravidez.

O ciclo menstrual é dividido em quatro fases:

- **Fase menstrual:** período da menstruação. Pode durar de 3 a 5 dias, ocorrendo a liberação do fluxo menstrual (descamação do endométrio na parede do útero).
- **Fase proliferativa ou estrogênica:** dura do final da menstruação até a ovulação. Corresponde à fase de amadurecimento folicular e aumento da concentração de estrógeno na circulação



Corte transversal de um ovário, mostrando o desenvolvimento de um folículo ovariano.

- **Fase secretória:** corresponde ao período de atividade intensa do corpo lúteo e de maior produção de progesterona.
- **Fase isquêmica ou pré-menstrual:** a transformação do corpo lúteo em corpo albicans determina queda nos níveis de progesterona, o que irá acarretar o desprendimento da camada superficial do endométrio.

É importante ressaltar que a duração do ciclo menstrual nem sempre é de 28 dias. O período compreendido entre a ovulação e a próxima menstruação é relativamente constante e dura 2 semanas. Assim, independentemente da duração total do ciclo, a ovulação deverá ocorrer 14 dias antes do seu final.

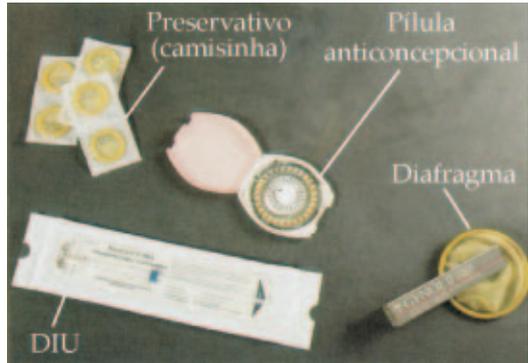
Duração total do ciclo:  $n$  dias

Dia provável da ovulação:  $n - 14$

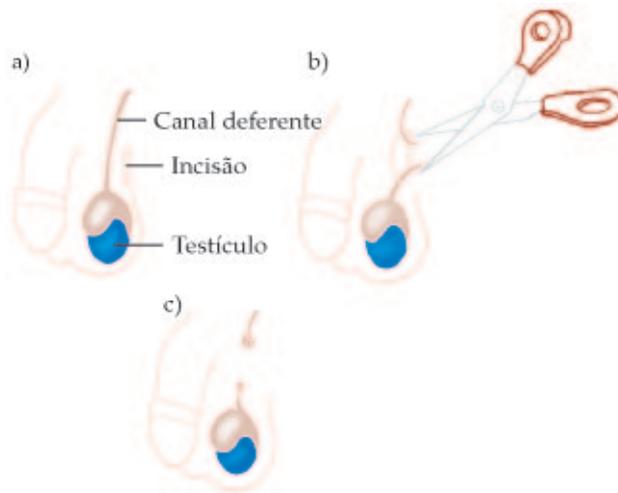


## 5. Métodos Anticoncepcionais

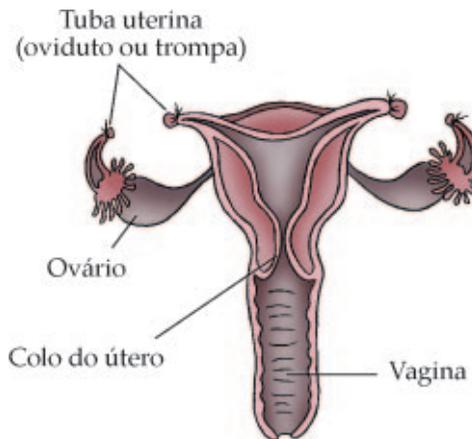
- **Cirúrgicos:** no homem, recorre-se à **vasectomia**, secção dos vasos deferentes, que impede a saída dos espermatozóides. A atividade sexual é preservada, já que a produção de testosterona não é interrompida e o líquido ejaculado contém secreções prostática e seminal. Na mulher, é feita a **laqueadura** ou **ligadura das tubas uterinas**, o que impede a subida dos espermatozóides ao encontro do óvulo (na verdade, ovócito II). Ambos são métodos muito eficazes, mas praticamente irreversíveis.



Alguns métodos anticoncepcionais



Vasectomia



Ligadura das trompas

- **Farmacológicos:** a **pílula anticoncepcional**, ou anovulatório oral, é constituída por estrógeno e progesterona, o que permite o desenvolvimento do endométrio e, por retroalimentação negativa, impede a produção de FSH pela hipófise. Assim, não há maturação do folículo nem ovulação. Ao final de uma "cartela", há interrupção na ingestão diária dos hormônios, com a ocorrência da menstruação.

A **pílula do dia seguinte** contém dose elevada do estrógeno (50 vezes a dose normal) e, provavelmente, impede a implantação do embrião.

A **pílula do mês seguinte** é usada caso tenha ocorrido fecundação e implantação. Trata-se de um potente antagonista da progesterona, o que leva à interrupção de sua ação e ao desprendimento do endométrio (como em menstruação). É, portanto, um abortivo, cujo uso enfrenta polêmicas de natureza moral, ética e religiosa.

- **Mecânicos:** o **dispositivo intra-uterino** (ou simplesmente DIU) é introduzido na cavidade uterina e impede a nidação (a implantação do embrião). Alguns têm, ainda, ação espermaticida.

Os preservativos de látex (ou **camisinhas**) são usados pelo homem durante o ato sexual e impedem a deposição dos espermatozoides na vagina.

O **diafragma** é uma peça de látex que a mulher introduz na vagina até fechar o colo do útero. Impede a subida dos espermatozoides e, muitas vezes, é utilizado em associação com geléias espermicidas.

- **Químicos:** a **geléia espermicida** mata os espermatozoides e só tem boa eficácia quando utilizada pela mulher em associação com o diafragma. As **lavagens com solução ácida**, realizadas com água e vi-

nagre ou ácido láctico logo após o ato sexual, visam a remover e matar os espermatozoides. Sua eficácia é muito baixa.

- **"Naturais":** o **coito interrompido** consiste na retirada do pênis antes da ejaculação. Tem péssima eficiência. O **teste do muco cervical** é a observação da viscosidade da secreção presente na vagina, que se altera no período fértil. Também é um método de alto risco de falha.

O **ritmo do calendário** (ou **método da tabelinha**) leva em conta o período fértil da mulher dentro do ciclo menstrual. Estabelece-se um período de abstinência sexual próximo à data provável da ovulação, sabendo-se que esta ocorre 2 semanas antes da menstruação. O período de abstinência sexual envolve uma margem de segurança de 3 dias antes e 3 dias depois, não devendo ocorrer relações sexuais do 12º ao 18º dia do ciclo. Trata-se, também, de um método de eficácia duvidosa, principalmente em mulheres cuja duração do ciclo for irregular.

Dom	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Sáb
			1	2	3	4
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	30	31	

1 – 1º dia do fluxo menstrual;  
14 – dia provável da ovulação

A escolha de um método anticoncepcional deve ser individualizada, levando em conta a eficácia, a ausência de efeitos colaterais, a facilidade de utilização e, certamente, com orientação médica (ginecologista).



