

# Sumário

Biologia **7**<sup>E</sup>

|   |    |  |    |
|---|----|--|----|
| <b>Genética</b> .....                         | 3  | Sistema ZO.....                              | 21 |
| <b>Conceitos básicos em genética</b> .....    | 3  | Outras formas de                             |    |
| Terminologia genética.....                    | 3  | determinação do sexo.....                    | 21 |
| <b>Primeira Lei de Mendel</b> .....           | 4  | Herança ligada ao sexo.....                  | 21 |
| Fenótipo e genótipo.....                      | 5  | Herança ligada ao Y ou restrita ao sexo..... | 22 |
| Cruzamento – testes.....                      | 5  | Herança influenciada pelo sexo.....          | 22 |
| Dominância e recessividade                    |    | Aberrações cromossômicas.....                | 22 |
| em algumas características.....               | 6  |  |    |
| <b>Herança sem dominância</b>                 |    | <b>Alterações estruturais</b> .....          | 23 |
| <b>ou herança intermediária</b> .....         | 8  | <b>Ligação fatorial (<i>linkage</i>),</b>    |    |
| Codominância.....                             | 8  | <b>Lei de Morgan e</b>                       |    |
| Genes letais.....                             | 9  | <b>mapeamento genético</b> .....             | 24 |
| Expressividade e penetrância.....             | 9  | Mapa genético.....                           | 26 |
| <b>Segunda Lei de Mendel</b> .....            | 10 |  |    |
| Experimentos de Mendel.....                   | 10 |  |    |
| Polialelia ou alelos múltiplos.....           | 12 |  |    |
| Sistema ABO de grupos sanguíneos.....         | 12 |  |    |
| Sistema Rh de grupos sanguíneos.....          | 13 |  |    |
| <b>Interação gênica</b> .....                 | 16 |  |    |
| Epistasia.....                                | 17 |  |    |
| <b>Herança quantitativa</b>                   |    |  |    |
| <b>ou poligênica</b> .....                    | 17 |  |    |
| Gametas.....                                  | 18 |  |    |
| Resultados.....                               | 18 |  |    |
| <b>Pleiotropia</b> .....                      | 18 |  |    |
| Diferenças entre poligenia e pleiotropia..... | 18 |  |    |
| <b>Herança genética e sexo</b> .....          | 20 |  |    |
| Cromossomos sexuais sistema XY.....           | 20 |  |    |
| Sistema XO.....                               | 21 |  |    |
| Sistema ZW.....                               | 21 |  |    |



## Genética



É a ciência que estuda o material hereditário e os mecanismos de sua transmissão de geração a geração. Ou seja, por que ocorrem as semelhanças e diferenças entre os organismos aparentados.

As leis básicas da hereditariedade foram formuladas pelo monge agostiniano **Gregor Mendel** (1822-1884), num mosteiro em Brunn, Áustria, hoje Brno, na atual República Tcheca.

### Conceitos básicos em genética

Antes de estudarmos de forma detalhada os trabalhos de Mendel, é importante tomarmos conhecimento de alguns termos utilizados em genética.

#### Terminologia genética

- **Gene**

É o segmento de uma molécula de DNA capaz de determinar a síntese de uma proteína.

- **Cromossomo**

Sequência linear de genes.

- **Cromossomos homólogos**

Cromossomos no qual cada um de seus genes tem o seu equivalente no outro cromossomo, para deter-

minado caráter (ocorrem, portanto, aos pares). Um de origem materna e outro de origem paterna.

- **Lócus gênico**

Local ocupado por um gene em um cromossomo.

- **Alelos**

Genes que ocupam lócus idênticos em cromossomos homólogos.

- **Genes dominantes**

São genes que encobrem ou não permitem a manifestação do seu alelo.

- **Genes recessivos**

Genes cuja ação é impedida pelo seu alelo (dominante), só manifestando sua característica em homozigose.

- **Homozigoto**

Indivíduo que apresenta genes alelos idênticos para determinado caráter (puro).

**Exemplo:**

AA – aa

- **Heterozigoto**

Indivíduo que apresenta genes alelos diferentes para determinado caráter (híbrido).

**Exemplo:**

Aa

- **Genótipo**

Constituição genética de um indivíduo (representado por pares de letras: AA – Aa – aa).

- **Fenótipo**

É a aparência do indivíduo em relação ao seu genótipo interado com o meio onde vive.

- **Herança autossômica**

É a herança determinada pelos genes situados nos

cromossomos autossômicos. Pode ser dominante ou recessiva. A maioria das características hereditárias é autossômica.

#### • Características hereditárias

São as características transmitidas de uma geração a outra através dos genes, por ocasião da reprodução.

##### Exemplo:

A cor dos olhos na espécie humana.

#### • Características adquiridas

São características que o indivíduo adquire, determinadas por fatores externos, tais como: ambiente, doenças, acidentes, etc.

##### Exemplo:

O indivíduo tornou-se calvo, devido ao uso de drogas que provocaram a queda dos cabelos.

## Primeira Lei de Mendel

Inicialmente Mendel analisou apenas uma característica de cada vez. Ao cruzar ervilhas de semente amarela com plantas de semente verde, por exemplo, Mendel desconsiderava outras características como altura, forma das sementes, etc.

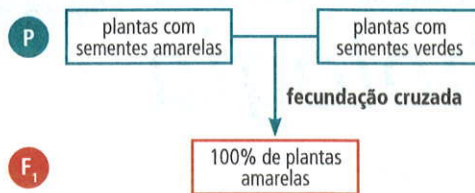
Em seus experimentos, Mendel utilizava semente de plantas de linhagem pura para um determinado caráter, segundo ele, eram puras as linhagens que originavam por autofecundação somente plantas iguais a si. Uma linhagem com sementes amarelas, por exemplo, quando autofecundada ou cruzada entre si, origina somente descendentes com sementes amarelas.

Se alguma planta produzisse, ao ser fecundada, algum descendente diferente dela, era chamada híbrida. Por exemplo, certas plantas com sementes amarelas, quando autofecundadas ou cruzadas entre si, originam descendentes com sementes verdes.

A geração de plantas puras era denominada por Mendel de **geração parental (P)**.

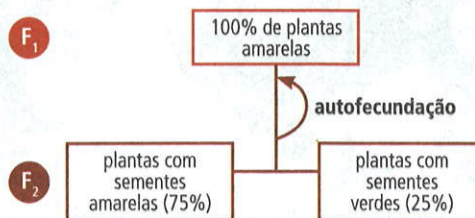
A descendência desses cruzamentos eram chamadas por Mendel de **Primeira Geração Híbrida (F<sub>1</sub>)**. A descendência resultante da autofecundação da primeira geração híbrida era chamada de **Segunda Geração Híbrida (F<sub>2</sub>)**.

Vamos considerar, inicialmente, um dos cruzamentos realizados por Mendel entre ervilhas com sementes amarelas puras e ervilhas com sementes verdes também puras. Neste cruzamento, Mendel observou que a geração F<sub>1</sub> produzia somente descendentes com sementes amarelas.



Deixando que as plantas da geração F<sub>1</sub> se autofecundassem, Mendel notou que a geração F<sub>2</sub> produzia plantas com sementes amarelas e verdes. O caráter semente verde, que havia desaparecido em F<sub>1</sub>, ressurge em F<sub>2</sub>. De 8 023 indivíduos obtidos, 6 022 eram plantas com sementes amarelas e 2 001 plantas com sementes verdes, o que determina uma proporção aproximada de 3 plantas com sementes amarelas para 1 planta com semente verde ou ainda 3/4 ou 75% de plantas com sementes amarelas para 1/4 ou 25% de plantas com sementes verdes.

Assim:



Mendel concluiu que o fator para a cor verde da semente não tinha sido destruído, apenas não se manifestava na presença do fator amarelo. Com base nisso, resolveu chamar o fator amarelo de dominante e o fator verde de recessivo.

Depois de realizar este experimento com as outras características escolhidas, e chegando sempre a resultados semelhantes ao da experiência original, Mendel concluiu:

- Cada caráter é denominado por um par de "fatores" (genes) existentes nas células do organismo.
- O organismo recebe esses fatores de seus pais. Cada um contribui com apenas um fator de cada par.
- Quando um organismo tem dois fatores diferentes, pode ocorrer que apenas a característica de um deles se manifeste (dominante), enquanto a outra não aparece (recessiva).
- Os fatores de um par não se misturam durante a formação dos gametas, entretanto aparecem em dose simples, ou seja, cada gameta possui apenas um fator. Esse princípio que compreende a segregação dos fatores constitui a Primeira Lei de Mendel, Lei da **Segregação dos Fatores** ou **Lei do Mono-hibridismo**, que pode ser enunciada da seguinte maneira:

Cada caráter é determinado por um par de fatores que se separam na formação dos gametas, nos quais ocorrem em dose simples.

### Fenótipo e genótipo

Como já sabemos, o conjunto de genes que um indivíduo possui em suas células é chamado de **genótipo**. O conjunto de características morfológicas ou funcionais do indivíduo é o seu **fenótipo**.

Observe o mesmo experimento realizado por Mendel, porém com a utilização do genótipo.

Nas ervilhas, o fenótipo das sementes pode ser verde ou amarelo. O primeiro é condicionado por um alelo recessivo **v** e o amarelo pelo dominante **V**.

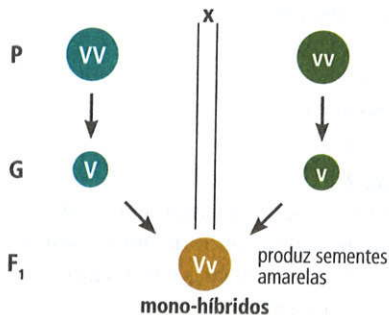
Assim temos:

| Caráter        | Alelos     | Genótipos        | Fenótipos |
|----------------|------------|------------------|-----------|
| Cor da semente | V (dom.)   | VV (hom. dom.)   | amarelas  |
|                |            | Vv (heter.)      | amarelas  |
|                | v (reces.) | vv (hom. reces.) | verdes    |

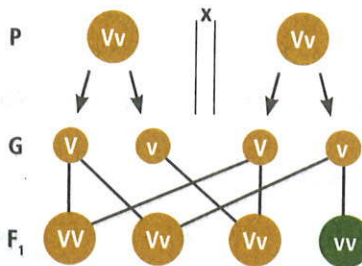
Vejamos todos os tipos possíveis de cruzamento referentes à cor da semente entre as ervilhas:

- Entre dois homocigotos dominantes (VV x VV).
- Entre dois homocigotos recessivos (vv x vv).
- Entre um homocigoto dominante e outro recessivo (VV x vv).
- Entre um homocigoto dominante e outro heterocigoto (VV x Vv).
- Entre um homocigoto recessivo e outro heterocigoto (vv x Vv).
- Entre dois heterocigotos (Vv x Vv).

Cruzando dois homocigotos (puros), um dominante e outro recessivo (geração parental P), temos na primeira geração de descendentes (F<sub>1</sub>) todos (100%) híbridos ou heterocigotos (genótipo) com o caráter dominante (fenótipo).



Efetuada a autofecundação entre dois descendentes da F<sub>1</sub> (Vv x Vv), obteremos a geração de descendentes da F<sub>2</sub>, cujo resultado é o seguinte:



Genótipos: 1/4 = 25% VV, 2/4 = 50% Vv, 1/4 = 25% vv  
Fenótipos amarelos: 3/4 = 75%, verdes: 1/4 = 25%

O que acabamos de ver é uma aplicação da Primeira Lei de Mendel em que ocorre **mono-hibridismo com dominância completa**, no qual um gene dominante bloqueia completamente a atividade do seu alelo recessivo de maneira que apenas o caráter por ele condicionado se manifesta.

No ser humano, a transmissão de várias características obedece à Primeira Lei de Mendel, um exemplo é o albinismo, anomalia hereditária, condicionada por um gene autossômico recessivo. Trata-se de um erro do metabolismo que determina a ausência de melanina, pigmento que dá cor à pele, aos olhos e ao cabelo. Um indivíduo albino se caracteriza pela falta de pigmentação nessas partes do corpo.

Observe o quadro:

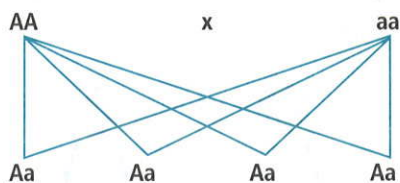
| Caráter             | Alelos     | Genótipos        | Fenótipos |
|---------------------|------------|------------------|-----------|
| Pigmentação da pele | A (dom.)   | AA (hom. dom.)   | normal    |
|                     |            | Aa (heter.)      | normal    |
|                     | a (reces.) | aa (hom. reces.) | albino    |

### Cruzamento – testes

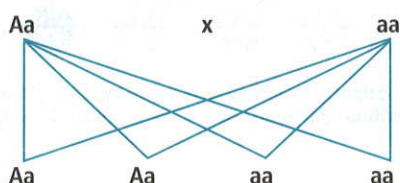
É o cruzamento realizado entre um indivíduo com o fenótipo do caráter dominante, que não se saiba do seu genótipo, homocigoto ou heterocigoto, com um indivíduo com fenótipo do caráter recessivo, que é homocigoto com certeza.

Os indivíduos com as características dominantes são cruzados com os de características recessivas. Se for homocigoto dominante (1.º cruzamento), toda a descendência terá característica dominante. Se for heterocigoto (2.º cruzamento) 50% da descendência terá característica dominante 50% terá recessiva.

### 1.º Cruzamento










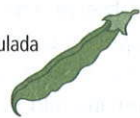






### 2.º Cruzamento



### Dominância e recessividade em algumas características

| Caracteres dominantes                 | Caracteres recessivos            |
|---------------------------------------|----------------------------------|
| Capacidade de enrolar a língua        | Incapacidade de enrolar a língua |
| Cabelo negro                          | Cabelo louro                     |
| Cabelo crespo                         | Cabelo liso                      |
| Braquidactilia                        | Dedos normais                    |
| Fusão dos dedos (sindactilia)         | Dedos normais                    |
| Presença de sardas                    | Ausência                         |
| Queixo proeminente                    | Queixo não proeminente           |
| Sobrancelhas espessas                 | Sobrancelhas normais             |
| Nariz curvo (aquilino)                | Nariz reto                       |
| Olhos escuros                         | Olhos claros                     |
| Olhos oblíquos (como na raça amarela) | Olhos como na raça branca        |
| Pestanas longas                       | Pestanas curtas                  |
| Pigmentação normal                    | Albinismo                        |
| Polidactilia                          | Pentadactilia (normal)           |

### Característica dominante Característica recessiva

|                   |  |   |
|-------------------|--|---|
| Forma da semente  |  lisa                         | rugosa           |
| Cor da semente    |  amarela                      | verde            |
| Cor da flor       |  púrpura                      | branco           |
| Forma da vagem    |  lisa                        | ondulada         |
| Cor da vagem      |  verde                       | amarela          |
| Posição da flor   |  axial (ao longo dos ramos) | terminal        |
| Tamanho da planta |  alta (160 cm)             | baixa (40 cm)  |

Características da ervilha estudadas por Mendel

### Testes

01. (UFPA) Ordene a coluna 2 de acordo com a 1 e assinale a ordem correta:

#### Coluna 1

- I. Gene recessivo
- II. Fenótipo
- III. Gene
- IV. Gene alelo
- V. Genótipo

#### Coluna 2

- ( ) Unidade de transmissão hereditária.
- ( ) Patrimônio genético de um indivíduo.
- ( ) Genes que ocupam o mesmo locus em cromossomos homólogos.

( ) Aspectos externos de um indivíduo.  
 ( ) Só se manifesta o caráter quando estiver em dose dupla.

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

**02.** (FEMPAR-PR) Analise as proposições I, II e III e assinale a alternativa correta.

I. Uma característica hereditária será sempre congênita.

II. Uma característica congênita poderá não ser hereditária.

III. As características congênitas serão sempre genéticas e hereditárias.

- a) Se apenas a proposição I for correta.  
 b) Se apenas a proposição II for correta.  
 c) Se apenas as proposições I e II forem corretas.  
 d) Se apenas as proposições I e III forem corretas.  
 e) Se apenas as proposições II e III forem corretas.

**03.** (PUC-RS) Do casamento de Antônio com Marília, ambos normais para o caráter pigmentação da pele, nasceu Clarice, que é albina. Qual a probabilidade de o segundo filho desse casal ser também albino?

- a) 100%                      d) 25%  
 b) 85%                      e) 10%  
 c) 60%

**04.** (PUC-SP) Sabe-se que em determinada raça de gatos, a pelagem preta uniforme é condicionada por gene dominante **B** e a pelagem branca uniforme, pelo seu alelo recessivo **b**. Do cruzamento de um casal de gatos pretos, ambos heterozigotos, espera-se que nasçam:

- a) 75% de gatos pretos e 25% de gatos brancos.  
 b) 25% de gatos pretos, 50% de gatos malhados e 25% de brancos.  
 c) 100% de gatos pretos.  
 d) 100% de gatos brancos.  
 e) 100% de gatos malhados.

**05.** (UFRS) A Primeira Lei de Mendel ou Lei da Segregação dos Genes pode ser relacionada a uma das fases do processo meiótico. Assinale a alternativa que apresenta a fase referida.

- a) Prófase I.                      d) Metáfase II.  
 b) Metáfase I.                      e) Prófase II.  
 c) Anáfase I.

**06.** (VUNESP) Em ratos, a cor da pelagem é condicionada por gene autossômico, sendo que o gene **C**, dominante, responsável pela coloração amarela, e seu alelo **c**, recessivo, responsável pela coloração cinza. Um geneticista observou que o cruzamento de ratos de pelagem amarela com ratos de pelagem cinza resultou em descendentes amarelos e cinzas em igual proporção; porém, o cruzamento de ratos amarelos entre si produziu 2/3 de descendentes de pelagem amarela e 1/3 de descendentes de pelagem cinza.

A partir de 20 ovos: originados do cruzamento de machos amarelos e fêmeas cinzas, quantas fêmeas amarelas adultas são esperadas? Justifique.

---



---



---



---



---



---



---

**07.** (UnB-DF) A forma de herança da cor da pelagem em carneiros foi investigada por meio de vários cruzamentos, descritos no quadro abaixo.

A partir dos dados apresentados, julgue os itens que se seguem como certos ou errados.

| Cruzamentos | Cor    |        | Descendentes |        |
|-------------|--------|--------|--------------|--------|
|             | Macho  | Fêmea  | Preto        | Branco |
| A           | Preto  | Preto  | 7            | 0      |
| B           | Preto  | Branco | 0            | 7      |
| C           | Branco | Preto  | 5            | 4      |
| D           | Branco | Branco | 0            | 8      |
| E           | Branco | Branco | 2            | 6      |

( ) No cruzamento A, os genótipos dos pais, em relação à cor da pelagem, podem ser diferentes.

( ) Nos cruzamentos C e E, são observados em ambos apenas dois fenótipos e três genótipos entre os descendentes.

( ) A herança para a cor de pelagem em carneiros é progressiva e ligada ao sexo.

( ) Quanto à probabilidade, os descendentes brancos de cruzamento C deveriam corresponder a três quartos dos descendentes do cruzamento.

08. (UENF-RJ) Suponha o casamento entre dois membros de uma mesma família que apresentem, igualmente, os genótipos **Aa**, no qual o gene recessivo a determina uma doença genética.

a) Explique por que o casamento entre pessoas da mesma família aumenta a chance de aparecimento de alguma doença genética nos filhos.

---



---



---



---

b) Demonstre, por meio de um esquema, a probabilidade do nascimento de filhos com doença genética, a partir desse casamento.

## Herança sem dominância ou herança intermediária

Nos casos de mono-hibridismo, nem sempre ocorre dominância completa entre os alelos. Há exemplos em que ela não se manifesta, como na herança intermediária. Neste caso, cada alelo exerce o seu efeito sem a dominância do outro. Os dois alelos interagem produzindo no heterozigoto um caráter intermediário entre os extremos representados pelos homozigotos.

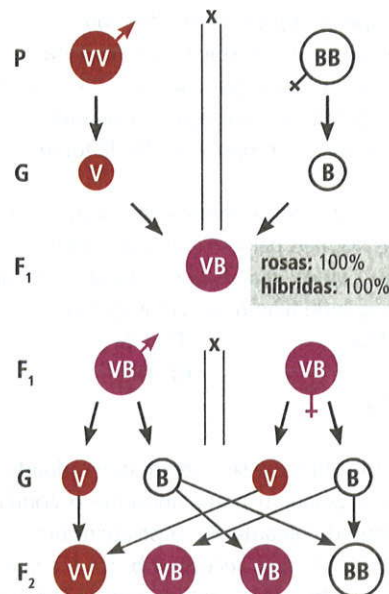
Vejamos um exemplo:

Em *Mirabilis jalapa* (maravilha) a cor da corola das flores é determinada por um par de alelos (**V** e **B**) e pode ser vermelha, branca e rosa. Os indivíduos com genótipo **VV** possuem corola vermelha, os indivíduos com genótipo **BB** possuem corola branca, ao passo que os heterozigotos **VB** possuem corola rosa. Notamos, portanto, que não há dominância entre os alelos **V** e **B**, uma vez que nos heterozigotos surge uma característica intermediária entre aquelas determinadas a cada um dos alelos.

Assim temos:

| Caráter       | Alelos           | Genótipos     | Fenótipos       |
|---------------|------------------|---------------|-----------------|
| Cor da corola | V<br>(sem. dom.) | VV (homoz.)   | Corola vermelha |
|               |                  | BB (homoz.)   | Corola branca   |
|               | B<br>(sem. dom.) | VB (heteroz.) | Corola rosa     |

Se cruzarmos dois indivíduos puros (homozigotos), de corola vermelha (**VV**) com corola branca (**BB**), obtemos, na  $F_1$ , 100% de híbridos (heterozigotos) de corola rosa (**VB**). Cruzando dois descendentes da  $F_1$ , vamos obter na  $F_2$ , o resultado conforme o quadro a seguir:



Desta maneira, no cruzamento entre dois heterozigotos no mono-hibridismo sem dominância, as proporções são as seguintes:

**Genótipicas:** 1 (VV) : 2 (VB) : 1 (BB) ou  
25% (VV) : 50% (VB) : 25% (BB)

**Fenótipicas:** 1 (vermelho) : 2 (rosas) : 1 (branca) ou  
25% (vermelho) : 50% (rosas) : 25% (branca)

## Codominância

Ocorre quando os indivíduos heterozigotos, para determinados alelos, expressam ambos os fenótipos simultaneamente. Casos de codominância podem ser observados na cor da plumagem de certas galinhas; na cor da pelagem de certas raças de bovinos e no sistema



ABO de sangue na espécie humana, que será estudada posteriormente.

## Genes letais

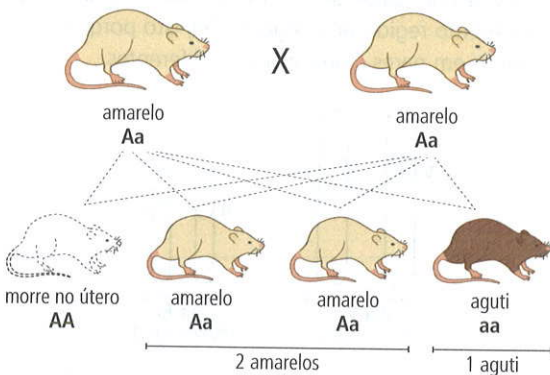
Em determinados casos, pode ocorrer que algum gene importante para o desenvolvimento do indivíduo sofra uma mutação, originando um gene alelo alterado. Dependendo do grau da mutação, indivíduos homocigotos para a forma alterada do gene, que não se desenvolve normalmente, podem morrer na fase embrionária ou juvenil.

Genes que matam seus portadores são denominados **genes letais**.

Os genes letais podem se apresentar como dominantes ou recessivos, mas só serão letais em homocigose.

Podemos ter genes chamados deletérios que só prejudicam o desenvolvimento.

### Exemplo de gene letal dominante em ratos "aguti"



## Expressividade e penetrância

A expressividade refere-se ao grau de intensidade ou expressão com que um gene se manifesta. Por exemplo, o gene para polidactilia (dedos extras) é dominante e pode expressar-se de forma diferente, dependendo de outros genes ou outros fatores que podem interferir na sua expressividade, podendo o indivíduo apresentar o broto de um dedo extra ou um ou dois dedos extras nos pés e nas mãos tão desenvolvidos quanto os demais.

Penetrância é a porcentagem de pessoas com determinado genótipo que apresentam, de fato, o fenótipo correspondente. Um exemplo é o retinoblastoma (um tipo de câncer nos olhos), em que cerca de 20% dos indivíduos que têm o gene dominante para a doença não apresentam o câncer. Sendo assim, podemos dizer

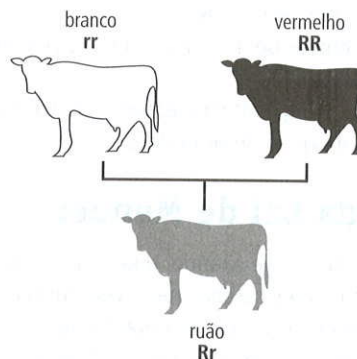
que o gene apresenta penetrância de 80% ou **penetrância incompleta**. Quando 100% dos indivíduos de determinado genótipo manifestam o fenótipo, fala-se em **penetrância completa**.

## Testes

09. (FMPA-MG) O cruzamento de duas plantas, uma de flores brancas outra de flores vermelhas, resultou em  $F_1$  todas as flores de cor-de-rosa; em  $F_2$ , algumas plantas com flores brancas, outras com flores cor-de-rosa e ainda outras flores vermelhas. Os achados indicam que:
- trata-se de di-hibridismo.
  - trata-se de alelos múltiplos.
  - trata-se de herança intermediária.
  - a cor vermelha é dominante.
  - a herança é multifatorial.

10. Nas galinhas andaluzas não há dominância na coloração da plumagem preta (PP) e branca (BB). Os híbridos são carijós também chamados de azuis (PB). Cruzando-se um galo azul com uma galinha preta, qual a proporção genotípica dos descendentes?
- 100% PP
  - 100% BB
  - 50% PB : 50% PP
  - 100% PB
  - 50% PP : 50% BB

11. (UFBA) De acordo com as indicações a seguir, espera-se na  $F_2$  a ocorrência do fenótipo ruão na porcentagem de:



- 0%
- 25%
- 50%
- 75%
- 100%

12. (UFRN) Duas espécies de plantas, R e W, são capazes de produzir tanto flores vermelhas quanto brancas. A espécie R produz uma maioria de flores vermelhas e poucas brancas; a espécie W, além dessas, também produz flores de cor rosa.

a) Explique o mecanismo de herança envolvido o controle da cor da flor em cada espécie de planta.

---



---



---

b) Represente o esquema do cruzamento de plantas heterozigotas e informe a proporção fenotípica esperada para as cores de flores produzidas por essas plantas.

13. (UEM-PR) Em relação aos mecanismos hereditários, assinale a alternativa **incorreta**.

a) Uma característica hereditária codificada por três alelos codominantes pode apresentar até três fenótipos diferentes.

b) Uma mulher daltônica que cruza com um homem normal tem filhos daltônicos e filhas normais.

c) Do cruzamento de dois heterozigotos para um alelo recessivo, nascerão 3/4 de filhos dominantes e 1/4 de filhos recessivos.

d) Nas fêmeas de mamíferos, um dos cromossomos X é inativo.

e) Um gene epistático é aquele que inibe a expressão de um gene de outro loco.

## Segunda Lei de Mendel

A Primeira Lei de Mendel analisa a transmissão de apenas um caráter condicionado por um par de genes alelos (mono-hibridismo). Entretanto, após o estabelecimento das regras que regem a primeira lei, Mendel passou a estudar, de forma conjunta, o processo de transmissão de duas ou mais características diferentes, determinadas por dois ou mais pares de genes localizados em cromossomos homólogos diferentes (di-hibridismo, tri-hibridismo, etc.).

## Experimentos de Mendel

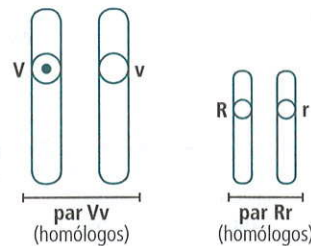
Em determinado experimento, Mendel estudou de forma simultânea a transmissão da cor da semente, que podia ser amarela ou verde, e a forma, que podia ser lisa ou rugosa.

Mendel cruzou plantas puras (homozigotas) para as duas características: amarelas e lisas foram cruzadas com verdes e rugosas e constatou que em  $F_1$  todas as ervilhas apresentavam sementes amarelas e lisas. Ao realizar a autofecundação de indivíduos  $F_1$ , observou que em  $F_2$  surgiram indivíduos com quatro tipos diferentes de fenótipos: amarelas e lisas, 9/16; amarelas e rugosas, 3/16; verdes e lisas, 3/16; e verdes e rugosas, 1/16. Em função disso, Mendel concluiu que havia independência na transmissão dos caracteres, ou seja, o caráter cor da semente (amarela ou verde) não está ligado ao caráter forma da semente (lisa ou rugosa).

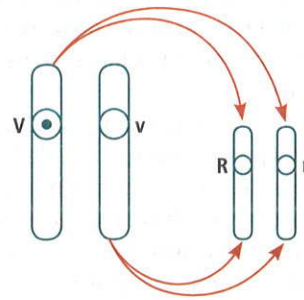
### Interpretação do experimento

Observe:

Estes dois pares de genes (**Vv** e **Rr**) têm seu comportamento regido pela segunda lei, isto porque estão situados em pares cromossômicos diferentes.



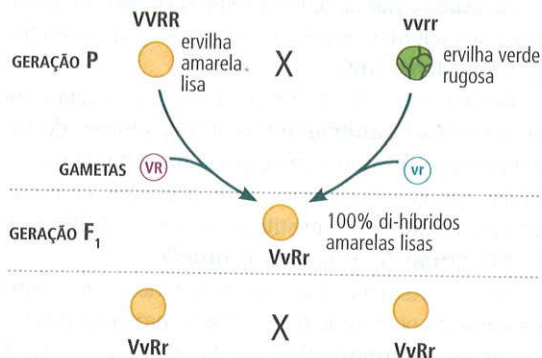
- Os cromossomos separam-se, independentemente um do outro, durante a formação dos gametas, e cada gameta recebe um cromossomo de cada par.
- Os tipos de gametas são tantos quantos são as combinações de cromossomos.
- Os gametas formam-se em proporções iguais entre si.
- Cada gameta tem igual oportunidade na fecundação.



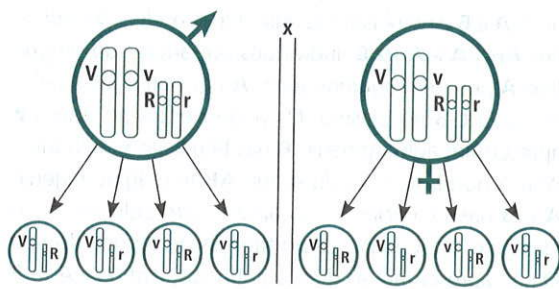
Assim em ervilhas temos os seguintes caracteres para os alelos:

| Caráter          | Alelos                         | Fenótipos         |
|------------------|--------------------------------|-------------------|
| Cor da semente   | V - dominante<br>v - recessivo | Amarelas e verdes |
| Forma da semente | R - dominante<br>r - recessivo | Lisas e rugosas   |

Vamos realizar os seguintes cruzamentos entre plantas homocigotas para as duas características:



Na autofecundação, os gametas formados seriam:



O cruzamento dos gametas ficaria:

| GERAÇÃO F <sub>2</sub> | GAMETAS MASCULINOS     |                          |                        |                          |
|------------------------|------------------------|--------------------------|------------------------|--------------------------|
|                        | $VR$                   | $Vr$                     | $vR$                   | $vr$                     |
| $VR$                   | amarela lisa<br>$VVRR$ | amarela lisa<br>$VVRr$   | amarela lisa<br>$VvRR$ | amarela lisa<br>$VvRr$   |
| $Vr$                   | amarela lisa<br>$VVRr$ | amarela rugosa<br>$VVrr$ | amarela lisa<br>$VvRr$ | amarela rugosa<br>$Vvrr$ |
| $vR$                   | amarela lisa<br>$VvRR$ | amarela lisa<br>$VvRr$   | verde lisa<br>$vvRR$   | verde lisa<br>$vvRr$     |
| $vr$                   | amarela lisa<br>$VvRr$ | amarela rugosa<br>$Vvrr$ | verde lisa<br>$vvRr$   | verde rugosa<br>$vvrr$   |

### GERAÇÃO F<sub>2</sub>

Na ervilha *Pisum sativum*, os alelos que condicionam as cores amarelas e verde e as formas lisa e rugosa das sementes segregam-se independentemente.

Resultados:

| Proporções fenotípicas | Fenótipos        | Proporção genotípicas                  |
|------------------------|------------------|--|
| 9/16 = 56,25%          | Amarelas lisas   | 1 $VVRR$ 2 $VvRR$<br>2 $VVRr$ 4 $VvRr$ |
| 3/16 = 18,75%          | Amarelas rugosas | 1 $VVrr$ 2 $Vvrr$                      |
| 3/16 = 18,75%          | Verdes lisas     | 1 $vvRR$ 1 $vvRr$                      |
| 1/16 = 6,25%           | Verdes rugosas   | 1 $vvrr$                               |

### ! Importante saber

**Proporções fenotípicas:**

9 : 3 : 3 : 1

A análise dos resultados dos experimentos de Mendel mostra que sementes com forma lisa podem ter cor amarela ou verde e sementes com forma rugosa também podem ter essas mesmas cores.

Assim, a forma da semente não depende da cor que ela apresenta.

A cor e a forma da semente manifestam-se independentemente uma da outra. Com estes resultados, Mendel pôde estabelecer a **Lei da Segregação Independente dos Fatores**, conhecida como **Segunda Lei de Mendel**, e que pode ser expressa da seguinte forma:

Fatores (genes) que condicionam dois ou mais caracteres separam-se durante a formação dos gametas, recombinando-se ao acaso, de maneira a estabelecer todas as possíveis combinações entre si.

### ✓ Testes

14. (COMBIMED-RJ) Em uma geração F<sub>2</sub>, para um caso de dois pares de genes independentes, a proporção do genótipo Aabb é igual a:

- 1/8
- 1/16
- 1/4
- 3/16
- 3/8

15. (FEI-SP) Em *Drosophila melanogaster*, asa vestigial (curta) e corpo ébano (preto) são características determinadas por dois genes recessivos **v** e **e**, respectivamente. Asa longa e corpo cinzento são características determinadas pelos genes dominantes **V** e **E**. Do cruzamento entre parentais surgiu, em F<sub>1</sub>, 25% de indivíduos de asa longa e corpo cinzento. O genótipo provável dos pais será:

- VvEe x VvEe
- VVEE x vvee
- vvee x vvee
- VvEe x vvee
- VvEe x VVEE

16. (UFSC) Em um casal, o marido tem olhos azuis e cabelo louro, sendo que seus pais têm olhos castanhos e são louros. A mulher tem olhos castanhos e cabelo escuro, sendo que seus pais, um tem cabelo louro e o outro cabelo castanho, e quanto à cor dos olhos, um tem azuis e outro castanhos. Este casal deseja saber a possibilidade do primeiro filho ter olhos azuis e cabelo louro. Assinale a opção correta:

- 25%
- 12,5%
- 50%
- 75%
- n.d.a.

17. (UFSE) A proporção fenotípica encontrada na descendência do cruzamento entre indivíduos heterozigotos para dois caracteres com dominância completa é:

- 3:1
- 1:2:1
- 9:4:3
- 9:7
- 9:3:3:1

18. (CESCEM-SP/UEL-PR) Numa planta em que ocorre segregação independente dos genes **A** e **B**, estes são dominantes em relação aos seus alelos **a** e **b**. Cruzam-se plantas **AaBb** entre si e, das 3 283 plantas resultantes, 1 854 apresentam o mesmo fenótipo que o das plantas da geração paterna. Qual das alternativas exprime o número mais próximo do esperado para plantas AABB?

- 1 854
- 1 640
- 925
- 611
- 203

## Polialelia ou alelos múltiplos

Até aqui foram analisados casos que envolviam a participação de apenas dois genes alelos, com a existência ou não de dominância entre eles. Há casos, porém, em que um determinado caráter pode ser condicionado por três ou mais pares de alelos contrastantes, definido a ocorrência de um fenômeno denominado de **polialelia** ou **alelos múltiplos**.

## Sistema ABO de grupos sanguíneos

Na espécie humana, um exemplo clássico de polialelia e de codominância é a herança dos grupos sanguíneos do sistema **ABO**.

No início do século XX, o médico e pesquisador austríaco **Karl Landsteiner** verificou, através de experimentos, a existência na espécie humana de quatro grupos sanguíneos básicos, com diferentes composições de sangue, que constituem o sistema **ABO**: **grupo AB**, **grupo A**, **grupo B** e **grupo O**.

O que determina o tipo sanguíneo no sistema **ABO** é a presença ou não de determinadas proteínas nas hemácias, os **aglutinogênios**, e pela presença ou não de outras proteínas, as **aglutininas**, no plasma sanguíneo.

Nas hemácias, os **aglutinogênios** podem ser dos tipos **A** e **B** e no plasma as aglutininas podem ser dos tipos **Anti-A** e **Anti-B**. Indivíduos portadores do sangue tipo **A** possuem aglutinogênio **A** nas hemácias e aglutinina Anti-B no plasma. Os pertencentes ao grupo **B** apresentam aglutinogênio **B** nas hemácias e aglutinina Anti-A no plasma. As do grupo **AB** têm aglutinogênio **A** e **B** nas hemácias e não apresentam aglutininas no plasma e, finalmente, os portadores de sangue do tipo **O** não apresentam as duas aglutininas, Anti-**A** e Anti-**B** no plasma.

| Fenótipos | Genótipos  | Aglutinogênios nas hemácias | Aglutininas no plasma |
|-----------|--|-----------------------------|-----------------------|
| Grupo AB  | I <sup>A</sup> I <sup>B</sup>                    | A e B                       | _____                 |
| Grupo A   | I <sup>A</sup> I <sup>A</sup> , I <sup>A</sup> i | A                           | anti-B                |
| Grupo B   | I <sup>B</sup> I <sup>B</sup> , I <sup>B</sup> i | B                           | anti-A                |
| Grupo O   | ii   | _____                       | anti-A e anti-B       |

## Herança do sistema ABO

O sistema ABO é determinado por uma série de três alelos múltiplos que são:

- **Gene I<sup>A</sup>**

Determina a produção de aglutinogênio A.

- **Gene I<sup>B</sup>**

Determina a produção de aglutinogênio B.

- **Gene i**

Determina a não produção de aglutinogênios.

A relação de dominância é:

$$I^A = I^B, I^A > i \text{ e } I^B > i$$

### Reações antígeno – anticorpos

As proteínas se forem ingeridas serão no sistema digestório convertidas em aminoácidos, que serão aproveitados. Mas, se estas mesmas proteínas forem injetadas em um tecido, este reagirá para eliminar aquele “corpo estranho” e seus efeitos. O tecido, então, produz proteínas específicas denominadas **anticorpos**, que reagem à proteína estranha (**antígeno**). Desta maneira, formam-se naturalmente mais anticorpos do que antígenos.

Em alguns casos mais específicos, como no sangue, os anticorpos (aglutinina Anti-**A** e Anti-**B**) já estão formados sem ter ocorrido a penetração do antígeno. No plasma, existem anticorpos específicos para determinados antígenos (aglutinogênio **A** e aglutinogênio **B**) presentes em hemácias.

Um encontro entre tipos sanguíneos incompatíveis determina reações de aglutinação, lise e precipitação, o que acarreta, se a introdução de sangue for grande, a morte do receptor.

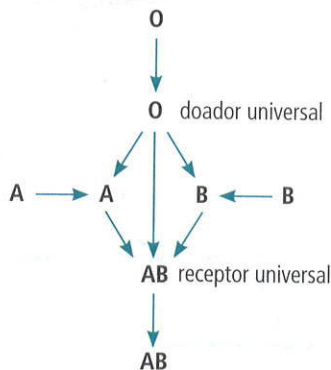
As hemácias do doador são aglutinadas no plasma do receptor.

### Transfusões sanguíneas

Nas transfusões sanguíneas, é importante se levar em consideração o tipo sanguíneo do sistema **ABO** a que pertencem as pessoas envolvidas, caso contrário, é possível que ocorram reações de aglutinação que podem provocar a morte do receptor. As aglutinações que caracterizam as incompatibilidades sanguíneas no sistema **ABO** ocorrem quando um indivíduo portador de determinada aglutinina recebe sangue com o aglutinogênio correspondente.

Para entender melhor os perigos de transfusões entre tipos sanguíneos incompatíveis, convém observar o que ocorre em uma reação antígeno-anticorpo.

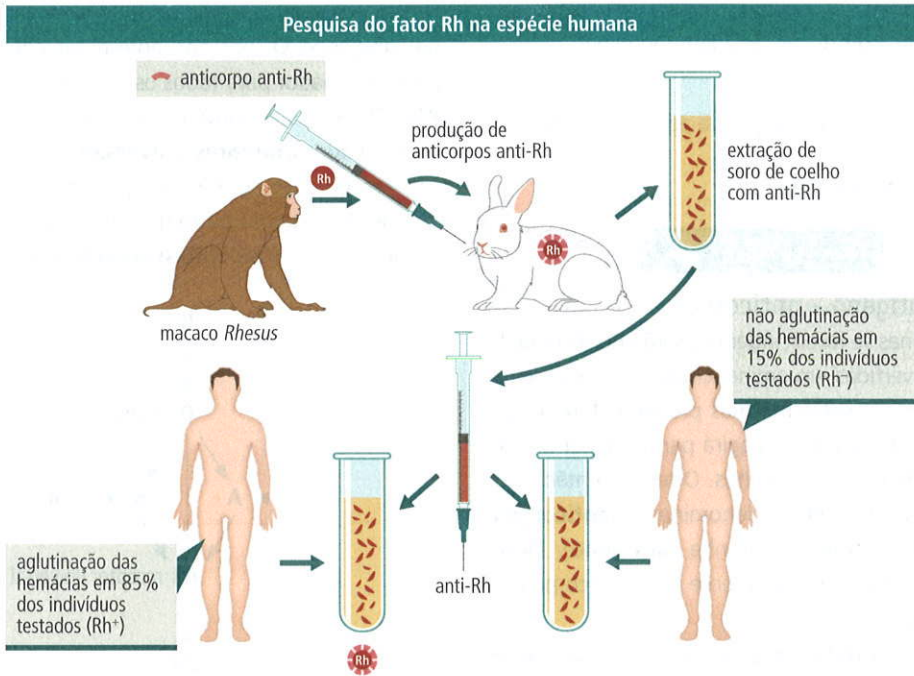
No esquema a seguir, pode-se observar que o grupo sanguíneo **O**, por não apresentar aglutinogênios, pode ser doador para todos os grupos existentes (**A**, **B**, **AB** e **O**), por esse motivo os indivíduos desse grupo são denominados **doadores universais**. O grupo **AB**, por sua vez, por não apresentar aglutininas, pode receber sangue de qualquer outro grupo, sendo seus portadores denominados **receptores universais**.



### Sistema Rh de grupos sanguíneos

No ano de 1940, Wiener e Landsteiner, que já haviam descoberto a existência do sistema **ABO**, fazendo experimentos com sangue do macaco *Rhesus*, descobriram outro tipo de sistema sanguíneo. Ao injetar em coelhos o sangue do macaco, eles observaram a formação de anticorpos para combater as hemácias introduzidas. Ao retirar amostras de sangue dos coelhos assim tratados, obtiveram um soro, apresentando um anticorpo que aglutinava as hemácias do macaco *Rhesus*. Dessa forma, eles concluíram que nas hemácias desse macaco havia um fator (antígeno), ao qual deram o nome de **fator Rh** (por causa do macaco *Rhesus*), que estimulava a produção de um anticorpo, ao qual denominaram **Anti-Rh**.

Ao misturarem o soro contendo anticorpos anti-Rh com o sangue de diferentes pessoas, os pesquisadores verificaram que cerca de 85% dos casos ocorria uma reação de aglutinação e em 15% essa aglutinação não acontecia. Concluíram, então, que as hemácias de 85% das pessoas examinadas apresentavam o fator Rh e que 15% não apresentavam esse fator. Dessa forma, as pessoas que apresentavam o fator Rh foram classificadas como **Rh positivas** (Rh<sup>+</sup>) e as que não apresentavam o fator, foram chamadas de **Rh negativas** (Rh<sup>-</sup>).



O fator Rh é determinado por um par de alelos, **R** (dominante) e **r** (recessivo), seguindo, portanto, o 1.º caso (mono-hibridismo com dominância). A distribuição genotípica e fenotípica é a seguinte:

| Genótipos             | Fenótipos       |
|-----------------------|-----------------|
| RR (homoz. dominante) | Rh <sup>+</sup> |
| Rr (heterozigoto)     | Rh <sup>+</sup> |
| rr (homoz. recessivo) | Rh <sup>-</sup> |

### Transfusões sanguíneas no sistema Rh

Vejamos no quadro abaixo:

| Doador          | Receptor        | N.º de transfusões | Reação   |
|-----------------|-----------------|--------------------|--|
| Rh <sup>+</sup> | Rh <sup>+</sup> | n                  | Negativa.  |
| Rh <sup>-</sup> | Rh <sup>-</sup> | n                  | Negativa.  |
| Rh <sup>-</sup> | Rh <sup>+</sup> | n                  | Negativa.  |
| Rh <sup>+</sup> | Rh <sup>-</sup> | 1.ª                | Negativa. Receptor produz anticorpos anti-Rh.                    |
| Rh <sup>+</sup> | Rh <sup>-</sup> | 2.ª                | Positiva. Hemólise das hemácias do doador no plasma do receptor. |

### Doença hemolítica do recém-nascido (D.H.R.N.) ou eritroblastose fetal

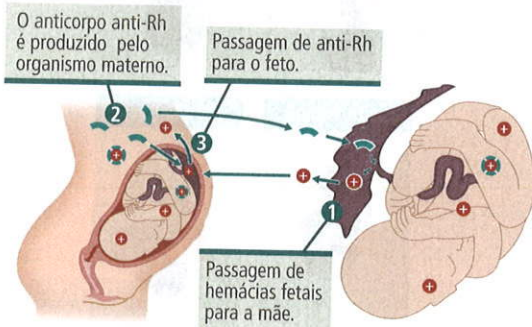
A D.H.R.N. pode ocorrer quando:

|                 | Pai             | Mãe             | Filho           |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| <b>Fenótipo</b> | Rh <sup>+</sup> | Rh <sup>-</sup> | Rh <sup>+</sup> |
| <b>Genótipo</b> | RR Rr           | rr              | Rr              |

Crianças, cujo sangue é incompatível com o de suas mães quanto ao grupo sanguíneo Rh (mãe com Rh negativo e criança com Rh positivo), podem apresentar anemia grave, causada pela liberação de hemoglobina dos glóbulos vermelhos da criança, em consequência da ação de anticorpos formados pela mãe. Ela pode ter produzido esses anticorpos por ter recebido previamente uma transfusão de sangue incompatível, ou por ter tido anteriormente uma criança com Rh incompatível e algumas células da criança terem alcançado a sua circulação, em geral, por ocasião do parto. Os anticorpos (anti-Rh) maternos formam-se lentamente, e o motivo é resultado quase sempre de um filho anterior. As crianças afetadas podem ter morte intrauterina ou logo depois de nascerem, porém, muitas sobrevivem e apresentam icterícia e insuficiência hepática, sendo às vezes surdas ou deficientes mentais. Frequentemente, estas crianças podem ser salvas por meio de uma troca total de seu sangue, enquanto que aquelas levemente afetadas podem se recuperar sozinhas.

### Mecanismo que provoca a D.H.R.N.

- 1 Hemácias Rh<sup>+</sup> do feto passam à circulação materna.
- 2 O organismo materno produz anticorpos anti-Rh.
- 3 Os anti-Rh, ao penetrarem na circulação fetal, destroem as hemácias do feto (hemólise).



Atualmente é possível evitar a sensibilização de uma mulher Rh negativa apesar do feto ser Rh positivo. Pode-se detectar a passagem de glóbulos vermelhos do feto para a circulação materna (hemorragia transplacentar), fazendo-se uma coloração de um esfregaço do sangue materno, a qual revela a presença de hemoglobina fetal. A maioria das hemorragias transplacentares ocorre na hora do parto. Se o bebê for Rh positivo e houver um volume significativo de hemorragia transplacentar, administra-se à mãe, após o parto, gamaglobulina Anti-Rh intravenosamente. Demonstrou-se que este agente elimina do sangue materno as células fetais e evita, assim, a sensibilização.

Outro fator importante contra a D.H.R.N. é a proteção feita pelo sistema **ABO**. Ocorre particularmente quando o sangue da mãe com Rh negativo for do grupo **O**, porque o sangue do grupo **O** sempre contém anticorpos contra o sangue dos grupos **A** e **B**. Por isso, quando a criança for **A** ou **B**, o anticorpo Anti-**A** ou Anti-**B** que a mãe possui irá destruir qualquer hemácia fetal que possa ter penetrado na sua circulação. Evidentemente que as células do feto contêm o antígeno Rh bem como o antígeno A ou B e, por isso, o antígeno Rh será neutralizado antes que a mãe tenha tido tempo de produzir o anticorpo Anti-Rh.

### Testes

19. (FMI-MG) Num banco de sangue foram selecionados os seguintes doadores: grupo **AB** – 5; grupo **A** – 8; grupo **B** – 3; e grupo **O** – 12. O primeiro pedido de doação partiu de um hospital que tinha dois pacientes nas seguintes condições:

**Paciente I:** Possui ambos os tipos de aglutininas no plasma.

**Paciente II:** Possui apenas um tipo de antígeno nas hemácias e aglutinina anti-B no plasma.

Quantos doadores estavam disponíveis para os pacientes I e II, respectivamente?

- a) 5 e 11                      d) 12 e 20  
b) 12 e 12                     e) 28 e 11  
c) 8 e 3

20. (FCMSC-SP) Um casal é estéril, pois a esposa tem atrofia de útero e o marido oligospermia (produz espermatozoides normais, mas em pequeno número). Além disso, sabe-se que ela é Rh<sup>+</sup> homozigota, e ele é Rh<sup>-</sup>. O casal decide ter um "bebê de proveta", contando, para isso, com a colaboração de uma outra mulher que receberá em seu próprio útero o zigoto formado por aquele casal.

Sabe-se que essa "mãe emprestada" já teve quatro filhos, sendo que os dois últimos apresentaram a doença hemolítica do recém-nascido.

A probabilidade de o "bebê de proveta", após os nove meses no útero da "mãe emprestada", nascer com aquela doença hemolítica é:

- a) nula, pois sua mãe genética é homozigota.  
b) nula, pois seu pai genético é Rh<sup>-</sup>.  
c) nula, pois tal doença só ocorre quando, num casal, a mãe é Rh<sup>-</sup> e o pai Rh<sup>+</sup>.  
d) alta, já que o "bebê de proveta" será Rh<sup>+</sup> com certeza.  
e) alta, pois a "mãe emprestada" é Rh<sup>+</sup>.

21. (FCC-SP) Um casal cujo filho é do grupo sanguíneo **O** pode ter os seguintes genótipos:

- a) I<sup>B</sup>I<sup>B</sup> e I<sup>A</sup>I<sup>B</sup>                      d) I<sup>A</sup>i e I<sup>B</sup>i  
b) I<sup>B</sup>i e I<sup>A</sup>I<sup>B</sup>                      e) I<sup>A</sup>I<sup>A</sup> e I<sup>B</sup>I<sup>B</sup>  
c) I<sup>A</sup>i e I<sup>B</sup>i

22. A doença hemolítica do recém-nascido (D.H.R.N.) ou eritroblastose fetal ocorre normalmente na criança com fator Rh positivo, quando:

- a) há dificuldades em relação à produção de elementos figurados do seu sangue.  
b) há necessidade de transfusão de sangue para a mãe no momento do parto.  
c) o pai recebeu sangue com fator Rh idêntico ao da mulher e do filho.  
d) a gravidez é considerada de risco, e a criança pode nascer prematura.  
e) a mãe é fator Rh negativo, já foi sensibilizada noutra gravidez e não informou ao médico.

23. (Mackenzie-SP) Uma mulher casa-se com um homem que apresentou eritroblastose fetal ao nascer. O parto do primeiro filho transcorre normalmente, mas o segundo filho apresenta eritroblastose. A respeito dessa situação, são feitas as seguintes afirmações:

- I. Essa mulher é certamente  $Rh^-$ .
- II. A segunda criança é  $Rh^+$ .
- III. O pai das crianças é  $Rh^+$ .
- IV. A primeira criança pode ter provocado a sensibilização da mãe.

Assinale:

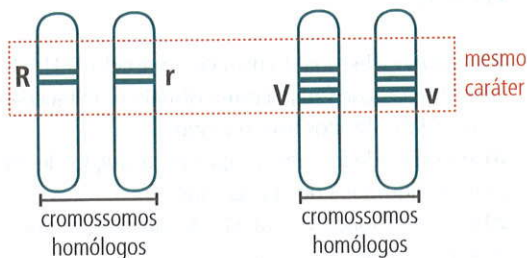
- a) se todas as afirmativas forem corretas.
- b) se somente as afirmativas I e II forem corretas.
- c) se somente as afirmativas II, III e IV forem corretas.
- d) se somente as afirmativas I e IV forem corretas.
- e) se somente as afirmativas III e IV forem corretas.

24. (PUC-SP) Qual dos indivíduos abaixo pode ser pai de uma criança do grupo O  $Rh^-$ , se a mãe é do grupo A  $Rh^+$ ?

- a)  $I^A I^A Rr$
- b)  $I^B i Rr$
- c)  $I^B i RR$
- d)  $I^A I^B rr$

## Interação gênica

Interação gênica é o fenômeno pelo qual dois ou mais pares de genes alelos com segregação independente (localizados em cromossomos homólogos diferentes), interagem entre si para determinar uma mesma característica.



Um exemplo clássico de interação gênica foi observado pelo geneticista inglês William Bateson e seus colaboradores nas galinhas domésticas. Essas aves apresentam quatro formas básicas de cristas, denominadas: **simples**, **ervilha**, **rosa** e **noz**.

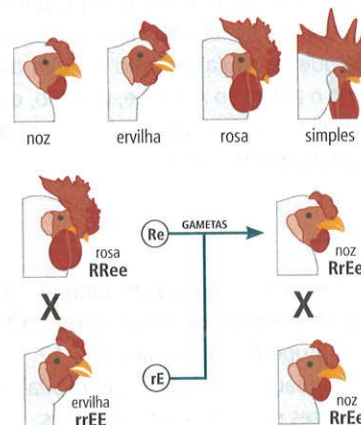


Depois de realizar vários cruzamentos entre as aves, Bateson concluiu que o caráter **forma das cristas** depende da interação entre dois pares de genes alelos: **R** e **E**. Cada um desses pares apresenta um gene que atua como dominante (**R** ou **E**) em relação ao seu alelo recessivo (**r** ou **e**).

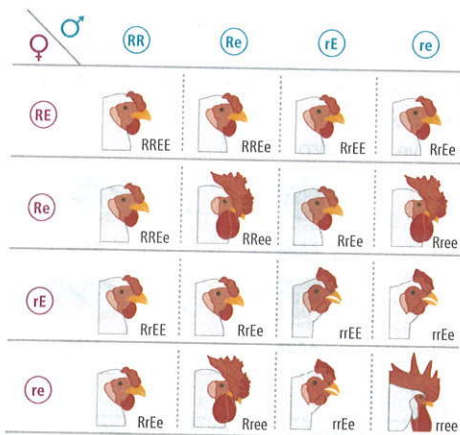
As experiências mostraram os seguintes tipos de interação:

| Fenótipos      | Genótipos                |
|----------------|--------------------------|
| crista ervilha | EErr ou Eerr             |
| crista rosa    | eeRR ou eeRr             |
| crista noz     | EERR, EERr, EeRR ou EeRr |
| crista simples | eerr                     |

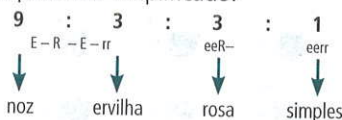
Esquematizando-se os cruzamentos, pode-se observar o que acontece quando cruzamos uma ave de crista rosa com uma de crista ervilha:







Ou pelo processo simplificado:



### Epistasia

É uma forma de interação gênica pela qual um gene "inibe" a manifestação de outro que não é seu alelo, podendo ou não estar localizado no mesmo cromossomo.

O gene que exerce ação inibitória é denominado **epistático** e o que é "inibido" é chamado **hipostático**.

Quando o gene epistático é dominante em relação ao seu alelo, a epistasia é chamada **dominante**. Nos casos em que o gene epistático é recessivo, no seu par de alelos, a epistasia é denominada **recessiva**.

Observe o caso de galinhas de raça Leghorn. Nas aves desta raça existe um gene **C**, dominante, que condiciona plumagem colorida. Assim os indivíduos coloridos devem ter genótipos **CC** ou **Cc**. Ocorre, porém, que existe um gene dominante **I**, epistático em relação a **C**. Assim, para possuir plumagem colorida, uma ave tem que ser portadora do gene **C** e não pode ter o gene **I**. Veja o quadro abaixo:

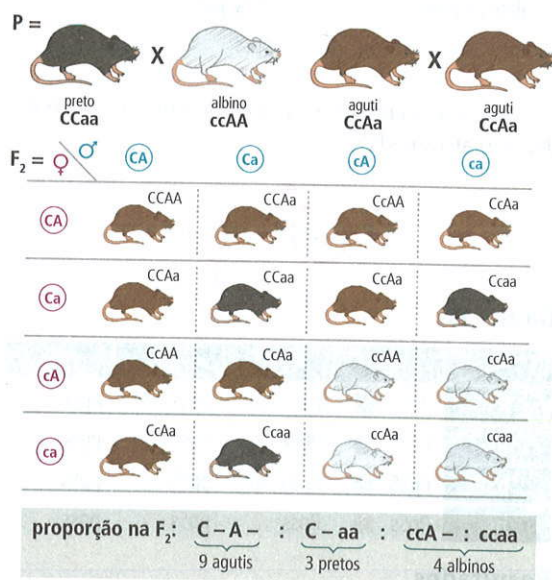
| Fenótipos         | Genótipos                          |
|-------------------|------------------------------------|
| Plumagem colorida | CCii ou Ccii                       |
| Plumagem branca   | CCII, CCII, Ccli, Ccli, ccli, ccli |

O que acabamos de ver é um caso de epistasia dominante. No caso da epistasia recessiva, um gene recessivo, em dose dupla, inibe o efeito de outro gene não alelo. É o que ocorre com a cor dos pelos de camundongos, que podem ter pelagem **aguti**, **preta** ou **albina**.

O gene **A** determina o padrão aguti, no qual o pelo é castanho acinzentado. Seu alelo **a** determina pelo preto uniforme.

Um outro gene não alelo **C** deve ocorrer para que se forme qualquer pigmento. O seu alelo **c**, em dose dupla, é epistático sobre **A** e **a**, determinando pelagem albina. Dessa forma, os animais **aacc**, **Aacc** e **AAcc** são albinos.

No cruzamento de dois animais puros, teremos a proporção em  $F_2$  de 9:3:4.



### Herança quantitativa ou poligênica

Essa forma de herança ocorre quando dois ou mais pares de genes não alelos apresentam seus efeitos somados em relação a um mesmo caráter, de maneira a determinar a manifestação de um fenótipo com diferentes intensidades.

Essas características são quantitativas e não qualitativas, como os casos estudados até agora.

Várias características nos seres humanos, em outros animais e nos vegetais, são o resultado da herança quantitativa; por exemplo: cor dos olhos e da pele, altura e peso na espécie humana, produção de leite no gado, quantidade de ovos nas galinhas, cor da semente do trigo, etc.

A cor da pele humana é determinada por dois pares de alelos situados em cromossomos homólogos diferentes.

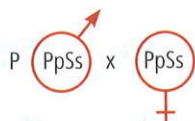
O par formado pelos alelos **P** e **p** estão num par de cromossomos homólogos e o par **S** e **s** estão em outro

par de cromossomos homólogos. Não há dominância entre eles. Qualquer alelo **P** ou **S** acrescentaria certa quantidade de pigmento ao fenótipo.

Observe a tabela a seguir:

| Fenótipos       | Genótipos        |
|-----------------|------------------|
| Negros          | PPSS             |
| Mulatos escuros | PPSs, PpSS       |
| Mulatos médios  | PPss, PpSs, ppSS |
| Mulatos claros  | Ppss, ppSs       |
| Branco          | ppss             |

Veja a descendência possível do cruzamento entre dois mulatos médios.



### Gametas

| ♀ \ ♂ | PS     | Ps     | pS     | ps     |
|-------|--------|--------|--------|--------|
| PS    | PPSS ■ | PPSs ■ | PpSS ■ | PpSs ■ |
| Ps    | PPSs ■ | PPss ■ | PpSs ■ | Ppss ■ |
| pS    | PpSS ■ | PpSs ■ | ppSS ■ | ppSs ■ |
| ps    | PpSs ■ | Ppss ■ | ppSs ■ | ppss ■ |

### Resultados

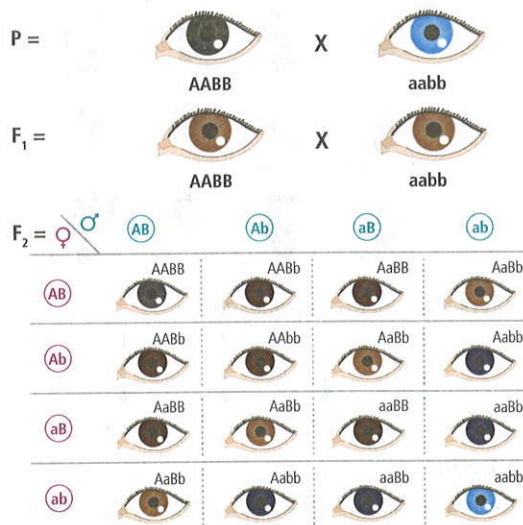
| Fenótipos     | Proporções | Genótipos              |
|---------------|------------|------------------------|
| Negro         | 1/16       | 1 PPSS                 |
| Mulato escuro | 4/16       | 2 PPSs, 1 PpSS         |
| Mulato médio  | 6/16       | 1 PPss, 1 ppSS, 4 PpSs |
| Mulato claro  | 4/16       | 2 Ppss, 2 ppSs         |
| Branco        | 1/16       | 1 ppss                 |

Outro exemplo de herança quantitativa na espécie humana é a cor da íris nos olhos que é determinada pelo mesmo pigmento de cor marrom, a melanina, que dá cor à pele. As diversas cores que podem ser encontradas nos olhos dos seres humanos são determinadas pela presença de diferentes quantidades de melanina que se encontra em duas camadas na íris; uma mais superficial e outra mais profunda.

A cor é determinada pela quantidade de melanina na camada superficial. Com pouca ou nenhuma melanina, os olhos ficam azuis. Com um pouco mais de melanina, os olhos se tornam esverdeados (mistura da

cor azul com o marrom da melanina na camada mais profunda). Já com uma quantidade maior de melanina, os olhos ficam com cores mais escuras, podendo variar de castanho a negro.

Observe o quadro abaixo:



A cor dos olhos no homem, considerando dois pares de alelos.

### Pleiotropia

É o fato de um par de alelos situados no mesmo par de cromossomos homólogos condicionar o aparecimento de várias características no mesmo organismo. Na pleiotropia ocorre o contrário da interação gênica, em que dois ou mais pares de genes atuam sobre uma mesma característica.

Um exemplo de pleiotropia na espécie humana é o gene que causa, de forma simultânea, fragilidade óssea, surdez congênita e esclerótica (o "branco" do olho) azulada. Esse gene apresenta expressividade variável e penetrância incompleta, uma vez que apenas 40% das pessoas que o possuem apresentam as três características simultaneamente.

Outro exemplo de pleiotropia ocorre com moscas drosófilas em que o mesmo gene que determina o aparecimento de asas vestigiais também condiciona os seguintes caracteres: balancins modificados, cerdas dorsais verticais, músculos das asas alterados, crescimento mais lento, menor fecundidade e menor longevidade.

### Diferenças entre poligenia e pleiotropia





## Testes

25. (Cesgranrio-RJ) Certas raças de galinha apresentam quanto à forma de crista quatro fenótipos diferentes: crista tipo "ervilha", tipo "rosa", tipo "noz" e tipo "simples". Esses tipos são determinados por dois pares de alelos com dominância: **E** para o tipo "ervilha" e **R** para o tipo "rosa". A presença no mesmo indivíduo de um alelo dominante de cada par produz o tipo "noz". A forma duplo-recessiva origina a crista "simples". Uma ave de crista "noz" foi cruzada com uma de crista "rosa", originando em  $F_1$ : 3/8 dos descendentes com crista "noz", 3/8 com crista "rosa", 1/8 com crista "ervilha" e 1/8 com crista "simples". Quais os genótipos paternos com relação ao tipo de crista?

- a) RrEE x Rree
- b) RrEe x Rree
- c) RREe x Rree
- d) Rree x Rree
- e) RREE x RRee

26. (UFU-MG) No homem, a surdez congênita é devida à homozigose de apenas um dos genes recessivos, **d** ou **e**. São necessários os dois genes dominantes **D** e **E** para a audição normal. Desse modo, Fernando, que é surdo, casou-se com Lúcia que também é surda. Tiveram seis filhos, todos com audição normal. Portanto, pode-se concluir que o genótipo dos filhos é:

- a) DDee
- b) ddEE
- c) DdEe
- d) DDEE
- e) DDEe

27. (FUABC-SP) Em cães, o gene **I** que determina a cor branca é epistático em relação ao gene **B**, que determina a cor preta, e ao seu alelo **b**, que determina a cor marrom. Sabe-se também que o gene **I** e seu alelo **i** segregam-se independentemente do gene **B** e de seu alelo **b**. Do cruzamento entre machos e fêmeas com genótipo **liBb** esperam-se descendentes que se distribuam na seguinte proporção fenotípica:

- a) 13 : 3
- b) 9 : 3 : 3 : 1
- c) 9 : 6 : 1
- d) 9 : 4 : 3
- e) 12 : 3 : 1

28. (UNITAU-SP) Admitindo-se que a cor da pele no homem seja um caso de herança quantitativa, determinada por dois pares de genes, qual a proporção de crianças brancas que podem ser esperadas de um casamento entre dois mulatos claros?

- a) 100%
- b) 0%
- c) 50%
- d) 25%
- e) 12,5%

29. Do casamento de dois mulatos médios resultou uma geração com 1/4 de mulatos escuros, 2/4 de mulatos médios e 1/4 de mulatos claros. O genótipo do casal é:

- a) AaBb x AaBb
- b) AAbb x AaBb
- c) AAbb x AAbb
- d) aaBB x aaBB
- e) aaBB x aaBb

30. (PUC-RJ) Em genética, o fenômeno da interação gênica consiste no fato de:

- a) uma característica provocada pelo ambiente, como surdez por infecção, imitar uma característica genética, como a surdez hereditária.
- b) vários pares de genes não alelos influenciarem na determinação de uma mesma característica.
- c) um único gene ter efeito simultâneo sobre várias características do organismo.
- d) dois pares de genes estarem no mesmo par de cromossomos homólogos.
- e) dois cromossomos se unirem para formar um gameta.

31. (UEPG-PR) O mecanismo da herança da cor da pele na espécie humana mostra um efeito de genes cumulativos e assim chegou-se ao conceito de herança quantitativa. Sobre essa interação gênica, assinale o que for correto.

- 01) Os fenótipos esperados quanto à cor da pele na espécie humana são: negro, mulato escuro, mulato médio, mulato claro e branco.
- 02) A grande variação da cor da pele no homem deve-se não apenas à herança quantitativa, mas também à maior ou menor exposição ao Sol.
- 04) A cor dos olhos é determinada pela quantidade de melanina na camada mais superficial. Com pouca ou nenhuma melanina, os olhos ficam azuis. Se houver um pouco mais de melanina, os olhos aparecem esverdeados. Com mais melanina, o tom dos olhos pode variar de marrom até quase preto.

08) A cor da íris na espécie humana também é resultado de uma interação gênica semelhante à da cor da pele (poligenia).

16) A cor da pele é determinada por um único par de genes, entre os quais não há dominância. Os filhos de indivíduos de pele negra são igualmente negros e os filhos de indivíduos de pele branca são igualmente brancos. Os filhos de negros e brancos são mulatos.

32. (UNIRIO) (...) O câncer de pele é o mais comum entre os cânceres e se manifesta de duas formas: os carcinomas e os melanomas. Mais frequente, o carcinoma tem malignidade baixa. Provoca grandes deformações, mas não leva à morte. Já o melanoma, que é a transformação maligna dos melanócitos (células produtoras de pigmentos), é o câncer que mais cresce no mundo – nos últimos dez anos aumentou 20%. As pessoas, principalmente em países tropicais como o Brasil, se expõem excessivamente aos raios ultravioletas do Sol, que são prejudiciais à epiderme (camada superficial da pele). Esta exposição exagerada é um dos fatores, mas não é o único.

O câncer de pele também é provocado por fatores genéticos e ambientais, como a destruição da camada de ozônio. As pessoas de pele clara estão mais sujeitas a ter problemas de pele e devem dar atenção especial ao autoexame por toda a área do corpo.(...)

Disponível em: <<http://www.saudevidaonline.com.br/cpele.htm>>  
Adaptado. Acesso em: 13 set. 2010.

A incidência desta doença está relacionada diretamente à concentração de melanina nas células epiteliais dos indivíduos. A formação deste pigmento depende de uma cadeia de reações químicas. Logo, a produção de melanina depende da interação entre todos os genes envolvidos (interação gênica). Considerando que a cor da pele dos seres humanos pode ser classificada em negra, mulata escura, mulata média, mulata clara e branca, qual seria o genótipo de um casal para que o cruzamento entre eles produzisse uma prole com todas as possibilidades fenotípicas?

- a) SsTt x SsTt
- b) SsTt x SsTt
- c) SsTt x sstt
- d) SsTt x SsTT
- e) SsTt x SsTT

## Herança genética e sexo

Em muitas espécies de animais, incluindo a humana, a diferença entre o sexo masculino e feminino reside, geralmente, em um par de cromossomos, denominado de **heterocromossomo** ou **cromossomo sexual**. Os demais cromossomos, que ocorrem tanto em células de machos quanto de fêmeas, são denominados **autossomos**.

### Cromossomos sexuais sistema XY

Na maioria dos animais, incluindo o homem, o sexo dos indivíduos é determinado pelo **sistema XY**.

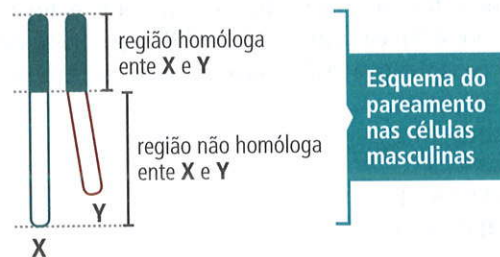
Nesse sistema, as fêmeas têm um par de cromossomos sexuais idênticos, denominado **cromossomo X**, enquanto os machos apresentam dois cromossomos sexuais diferentes, o **cromossomo X**, como nas fêmeas, e o **cromossomo Y**, exclusivo dos machos. Dessa forma, as fêmeas apresentam o par de homólogos **XX** e os machos apresentam o par de não homólogos **XY**.

Durante a meiose, processo de divisão celular que dá origem aos gametas, uma célula feminina diploide **XX** dá origem a óvulos portadores apenas com cromossomos **X**. Já nos machos, a célula diploide **XY** dá origem a espermatozoides com o cromossomo **X** e espermatozoides com cromossomos **Y** em proporções iguais. Dizemos, portanto, que os machos são **heterogaméticos** e as fêmeas **homogaméticas**.

No sistema **XY**, o sexo dos descendentes é determinado pelo gameta masculino no momento da fecundação: se o óvulo for fecundado pelo espermatozoide **X**, o zigoto formado dará origem a uma fêmea; se for um espermatozoide **Y** a fecundar o óvulo, se desenvolverá um macho.

Quando os cromossomos pareiam na meiose não ocorre um pareamento completo dos cromossomos sexuais criando assim uma área de correspondência entre genes chamada área homóloga e uma área não homóloga onde não há correspondência.

Os genes da região homóloga segregam-se independentemente do sexo do indivíduo.



## Sistema XO

Nesse sistema, que ocorre em insetos, como o gafanhoto, não ocorre o cromossomo **Y**. As fêmeas apresentam um par de cromossomos sexuais **XX**, e os machos apenas um cromossomo **X**, sendo os machos heterogaméticos e as fêmeas homogaméticas.

Esse sistema é denominado **XO**, sendo que o zero indica ausência de um cromossomo sexual.

## Sistema ZW

No sistema **ZW** que ocorre nas aves, mariposas e borboletas, é a fêmea que apresenta cromossomos diferentes (**ZW**), sendo heterogaméticas, enquanto o macho é homogamético por apresentar cromossomos iguais (**ZZ**).

## Sistema ZO

Nesse sistema, o macho é **ZZ** e a fêmea é **ZO**. Sendo assim, a fêmea é heterogamética e o macho homogamético. Ocorre em alguns répteis e na galinha doméstica.

## Outras formas de determinação do sexo

Em alguns insetos, como abelhas, formigas e vespas, a determinação do sexo depende de um lote inteiro de cromossomos. Se os óvulos forem fecundados por espermatozoides, geram fêmeas diploides, caso contrário, se o óvulo não for fecundado e se desenvolver por partenogênese, dará origem a uma larva haploide que vai se transformar em um macho.

## Herança ligada ao sexo

A herança é considerada ligada ao sexo quando os genes envolvidos situam-se no cromossomo **X**, em sua parte não homóloga, isto é, sem correspondência no cromossomo **Y**. Neste caso, como os homens possuem apenas um cromossomo **X** e, conseqüentemente, não possuem alelos dos genes localizados na região não homóloga desse cromossomo, eles são chamados **hemizigotos**. As mulheres, entretanto, poderão ser **homozigotas** ou **heterozigotas**, pois apresentam dois cromossomos **X** que se pareiam completamente.

Como existe uma grande região do cromossomo **X** que não ocorre no **Y**, pode-se encontrar nesse local diversos genes responsáveis por várias características, como hemofilia, daltonismo, distrofia muscular de Duchenne, mecha branca no cabelo, entre outras.

### • Hemofilia

É uma doença hereditária que se caracteriza por um retardamento na coagulação do sangue e que se manifesta por hemorragias. Qualquer ferimento num hemofílico, por menor que seja, pode causar hemorragias graves.

A coagulação do sangue é determinada por uma série de reações controladas por substâncias que agem em cadeia, denominadas genericamente de fatores de coagulação e que estão presentes no plasma sanguíneo.

Na **hemofilia A**, uma das formas mais graves da doença, falta o **fator VIII**, uma substância intermediária na cadeia de reações que levam à coagulação. A produção desse fator é determinada por um alelo dominante **H**, localizado nos cromossomos **X (X<sup>H</sup>)** na sua porção não homóloga ao cromossomo **Y**. Já o seu alelo recessivo **h (X<sup>h</sup>)** determina a hemofilia. Dessa forma, as mulheres apresentam **dois** genes para o caráter e os homens apenas **um** gene.

Os possíveis genótipos e fenótipos correspondentes são:

| Genótipo                      | Fenótipo                  |
|-------------------------------|---------------------------|
| X <sup>H</sup> X <sup>H</sup> | Mulher normal             |
| X <sup>H</sup> X <sup>h</sup> | Mulher normal (portadora) |
| X <sup>h</sup> X <sup>h</sup> | Mulher hemofílica         |
| X <sup>H</sup> Y              | Homem normal              |
| X <sup>h</sup> Y              | Homem hemofílico          |

Os cruzamentos seguem normalmente a Primeira Lei de Mendel.

A probabilidade de aparecer uma mulher hemofílica é extremamente baixa. Acreditou-se que o gene **h** fosse letal (mortal) em homozigose, porém alguns casos de mulheres hemofílicas já foram descritos na literatura médica. Hoje acredita-se que a raridade de mulheres hemofílicas seja devido à baixa frequência do gene na população.

Para o desenvolvimento da hemofilia nas mulheres, é necessário ainda a presença do gene **X<sup>h</sup>** em duplicata, uma vez que elas apresentam dois cromossomos **X**.



### Exercício resolvido

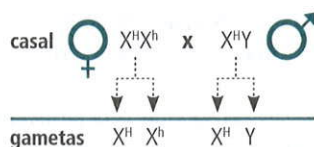
Um casal normal, quanto à hemofilia, teve um menino hemofílico. Qual o genótipo desse casal e a probabilidade de seus próximos filhos serem hemofílicos?

#### Resolução:

O nascimento de um menino hemofílico (X<sup>h</sup>Y) indica que a mãe é portadora do gene X<sup>h</sup>. Como ela é

normal, seu genótipo só pode ser  $X^H X^h$ . O homem, por sua vez, sendo também normal, tem genótipo  $X^H Y$ .

Assim:



Efetuando as combinações possíveis, temos:

| ♀ \ ♂ | $X^H$     | $Y$     |
|-------|-----------|---------|
| $X^H$ | $X^H X^H$ | $X^H Y$ |
| $X^h$ | $X^H X^h$ | $X^h Y$ |

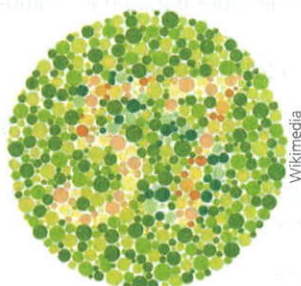
Observe que todas as filhas do casal serão sempre normais. Somente os meninos poderão ser hemofílicos, com 50% de probabilidade. Se quisermos saber a probabilidade de o casal ter um menino hemofílico, ela será o produto de 1/2 (probabilidade de ser menino) por 1/2 (probabilidade do sexo masculino ser hemofílico), isto é, 1/4 ou 25%.

#### • Daltonismo

O daltonismo é a incapacidade de distinção das cores, principalmente o verde e o vermelho, enxergando-se, ao invés delas, as cores cinza, amarela ou azul.

É uma anomalia causada por um gene recessivo, representado por  $X^d$ . Seu alelo dominante, representado por  $X^D$ , condiciona a visão normal. Desta forma, podemos estabelecer a seguinte relação de genótipos e fenótipos para o daltonismo.

| Genótipo  | Fenótipo                  |
|-----------|---------------------------|
| $X^D X^D$ | Mulher normal             |
| $X^D X^d$ | Mulher normal (portadora) |
| $X^d X^d$ | Mulher daltônica          |
| $X^D Y$   | Homem normal              |
| $X^d Y$   | Homem daltônico           |



Exemplo de teste feito para exame de daltonismo

### Herança ligada ao Y ou restrita ao sexo

A herança é considerada restrita ao sexo quando os genes envolvidos situam-se no cromossomo **Y**, na região não homóloga ao cromossomo **X**. Esses genes são chamados de **holândricos** (*holo* = todos, *andricos* = masculino) porque existe apenas nos homens e são transmitidos diretamente do pai para os filhos do sexo masculino. Um exemplo é a herança da **hipertricose auricular**, que se caracteriza pela presença de pelos longos e grossos nas orelhas dos homens.

### Herança influenciada pelo sexo

Esse tipo de herança ocorre quando os genes que determinam certo caráter expressam-se melhor de acordo com o sexo do indivíduo.

Um exemplo é a **calvície** na espécie humana. A calvície é determinada por um gene **C**, localizado em cromossomo autossômico, e que é dominante nos homens e recessivo nas mulheres. Assim, um mesmo genótipo manifesta-se de forma diferente em cada sexo.

Essa diferença no comportamento se deve à presença de hormônios sexuais em taxas diferentes nos dois sexos. O alelo **C** só atua como dominante na presença de hormônios masculinos (testosterona).

Observe o quadro abaixo:

| Fenótipo | Genótipos                             |
|----------|---------------------------------------|
| CC       | Homem: calvo<br>Mulher: calva         |
| Cc       | Homem: calvo<br>Mulher: não calva     |
| cc       | Homem: não calvo<br>Mulher: não calva |

### Aberrações cromossômicas

Qualquer alteração que afete o número ou a estrutura dos cromossomos de uma célula é denominada **mutação** ou **aberração cromossômica**.

Essas alterações podem ser classificadas em **numéricas** e **estruturais**. Nas alterações numéricas, pode ocorrer perda ou acréscimo de um ou mais cromossomos (**aneuploidias**), ou até de genomas inteiros (**euploidias**). Na espécie humana, a ocorrência de euploidias é incompatível com o desenvolvimento embrionário.

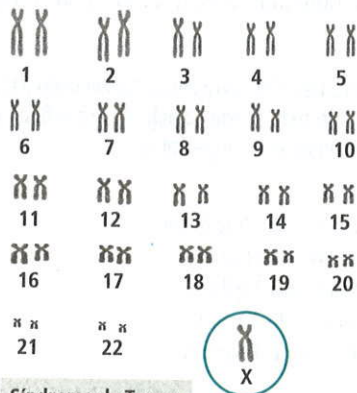
As aneuploidias podem ser observadas nos seres humanos. As mais comuns são as **monossomias** e as **trissomias**.

• **Monossomias**

Ocorre quando o indivíduo não apresenta um dos cromossomos do jogo diploide. Um exemplo é a **Síndrome de Turner** em que os portadores não têm um dos cromossomos X, apresentando um cariótipo igual a 44A + X0. Apresentam fenótipo feminino, baixa estatura, ovários atrofiados e em alguns casos pescoço curto e largo.

• **Trissomias**

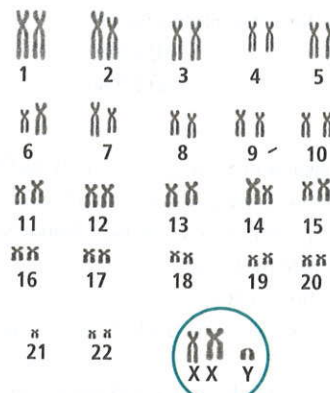
Ocorre quando o indivíduo apresenta um cromos-



**Síndrome de Turner**  
Cariótipo: 2AX0

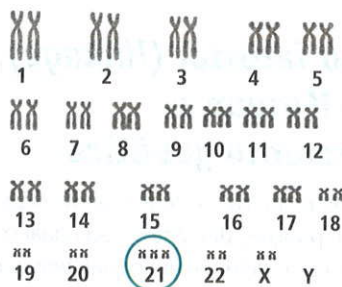
somo a mais no jogo diploide. São exemplos de trissomia na espécie humana a **Síndrome de Klinefelter** e a **Síndrome de Down**.

- **Síndrome de Klinefelter:** Os indivíduos apresentam um cromossomo X a mais, com um cariótipo de 44A + XXY. Apresentam fenótipo masculino, braços e pernas muito longos, pouco pelo no corpo, testículos atrofiados, pequenos seios e, às vezes, deficiência mental.



**Síndrome de Klinefelter**  
Cariótipo: 2AXXY

- **Síndrome de Down:** Nesse caso, os indivíduos apresentam um cromossomo autossômico a mais (trissomia do 21). Ocorre tanto em homens quanto em mulheres, cujos cariótipos serão, respectivamente, 45A + XY e 45A + XX. Os portadores dessa síndrome apresentam deficiência mental, baixa estatura, uma prega transversal contínua na palma da mão, língua grossa, prega única no dedo mínimo, pescoço curto e grosso, entre outras características.



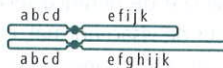
**Síndrome de Down**

## Alterações estruturais

Essas alterações são o resultado da quebra de cromossomos seguidas de perda de pedaços que podem perder-se ou juntar-se em posições diferentes da original. Podem ser classificadas em:

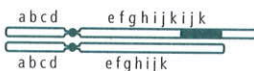
• **Deficiência ou deleção**

Ocorre perda de uma porção do cromossomo.



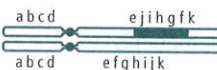
• **Duplicação**

O cromossomo apresenta uma porção repetida.



• **Inversão**

Um pedaço do cromossomo se destaca, sofre um giro de 180° e liga-se outra vez ao ponto da quebra.



### • Translocação

Consiste na troca de pedaços entre cromossomos não homólogos.



### ✓ Testes

33. (PUC-RS) Roberto é um indivíduo normal para a hemofilia. A mãe de Paula, sua esposa, é portadora do gene para esse caráter patológico. O casal já tem um filho hemofílico. Qual a probabilidade de esse casal ter uma filha portadora?

- a) 100%
- b) 75%
- c) 50%
- d) 45%
- e) 25%

34. Um casal normal teve um filho hemofílico. Com relação a esse fato, pode-se afirmar que:

- a) o pai é portador de gene para hemofilia;
- b) a mãe é hemofílica;
- c) o pai é hemofílico;
- d) ambos os pais são portadores de gene para a hemofilia;
- e) a mãe é portadora de gene para a hemofilia.

35. (UEM-PR) Uma mulher normal, filha de pai hemofílico e casada com um indivíduo normal, vai ter uma criança. A probabilidade desta criança ser hemofílica é de:

- a)  $\frac{1}{2}$
- b)  $\frac{1}{4}$
- c)  $\frac{3}{4}$
- d)  $\frac{1}{8}$
- e)  $\frac{1}{16}$

36. (FUVEST-SP) O daltonismo é de herança recessiva ligada ao X. Uma mulher de visão normal, cujo pai é daltônico, casou-se com um homem de visão normal. A probabilidade de crianças daltônicas na prole dessa mulher é de:

- a)  $\frac{1}{4}$  dos meninos.
- b)  $\frac{1}{4}$  das meninas.
- c)  $\frac{1}{2}$  dos meninos.
- d)  $\frac{1}{8}$  das crianças.
- e)  $\frac{1}{2}$  dos meninos e  $\frac{1}{2}$  das meninas.

37. (FATEC-SP) A síndrome de Klinefelter é uma anomalia genética, devido à:

- a) presença de três cromossomos autossômicos n.º 21;
- b) ausência de um cromossomo autossômico n.º 21;
- c) presença de um cromossomo X e dois cromossomos Y;
- d) presença de um cromossomo Y e dois cromossomos X;
- e) ausência de cromossomos sexuais.

38. (Cesgranrio-RJ) Dentre as aberrações cromossômicas humanas, encontramos uma com as características:

Presença de 47 cromossomos; Trissomia do 21; Baixo Q.I. (intelectual); Prega palpebral; Língua fissurada; Dedo mínimo com prega única.

Trata-se de:

- a) Síndrome de Klinefelter.
- b) Síndrome de Down.
- c) Síndrome do Triplo X.
- d) Síndrome de Turner.
- e) Síndrome do Duplo Y.

39. Em relação aos mecanismos hereditários, assinala a alternativa incorreta.

- a) Uma característica hereditária codificada por três alelos codominantes pode apresentar até três fenótipos diferentes.
- b) Uma mulher daltônica que cruza com um homem normal tem filhos daltônicos e filhas normais.
- c) Do cruzamento de dois heterozigotos para um alelo recessivo, nascerão  $\frac{3}{4}$  de filhos dominantes e  $\frac{1}{4}$  de filhos recessivos.
- d) Nas fêmeas de mamíferos, um dos cromossomos X é inativo.
- e) Um gene epistático é aquele que inibe a expressão de um gene de outro loco.

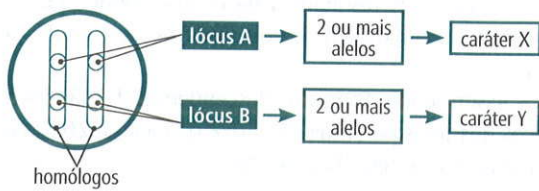
## Ligação fatorial (*linkage*), Lei de Morgan e mapeamento genético

Nos cromossomos existem muitos loci genéticos situados em posições diferentes, cada qual com os seus respectivos alelos, determinando características distintas.

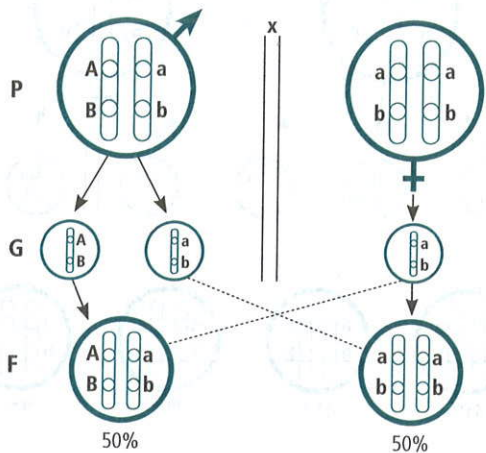
Assim sendo, podemos estudar a transmissão de duas ou mais características determinadas por genes situados num mesmo par de cromossomos homólogos.



Esquematisando, temos:



Considere um par de cromossomos homólogos, no qual temos dois locos diferentes. No primeiro locus, temos os alelos **A** e **a** e no segundo locus, temos os alelos **B** e **b**. Vejamos agora o seguinte cruzamento entre um indivíduo duplo heterozigoto com outro duplo recessivo.



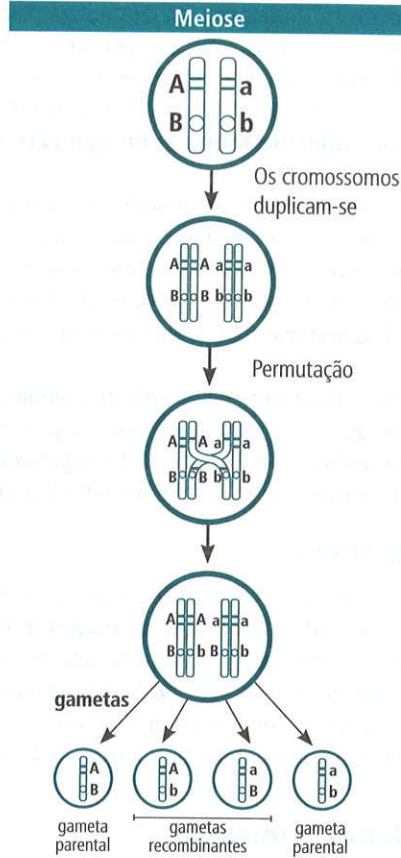
Como podemos ver o indivíduo masculino deste cruzamento, embora sendo duplo heterozigoto, produziu somente dois tipos de gametas: **AB** e **ab**. Isso ocorreu porque os alelos estão em locos diferentes do mesmo cromossomo e, assim, durante a meiose da gametogênese, não houve segregação independente e sim os genes situados no mesmo cromossomo passaram juntos para o mesmo gameta.

Este fenômeno foi denominado por Morgan de **linkage** ou **ligação fatorial**.

Esta constitui a primeira parte da Terceira Lei da Herança de Morgan.

Ocorre que, durante a meiose, pode acontecer o **crossing-over** ou **permuta** ou **sobrecruzamento**, que consiste em troca de segmentos entre as cromátides dos cromossomos homólogos, desfazendo em parte a **linkage**.

Observe o esquema a seguir:



Então, quando ocorre o **crossing-over**, são produzidos quatro tipos de gametas diferentes, como acontece na segregação independente, da Segunda Lei de Mendel. Todavia, as porcentagens não são idênticas. Enquanto na segregação independente as porcentagens são de 25% de cada, na ligação-permuta as porcentagens dependem da taxa de permuta.

Os genes situados no mesmo cromossomo podem estar muito próximos ou mais distantes. Quando muito próximos, não sofrem permuta, transmitindo-se sempre ligados (**ligação completa**). Quanto maior a distância entre eles, maior a probabilidade de permuta (**ligação incompleta**).

Concluimos, assim, que a frequência de permuta é diretamente proporcional à distância entre os genes situados no mesmo cromossomo.

Esses fatos são importantes porque nos levam a admitir uma disposição linear para os genes situados no mesmo cromossomo, o que possibilita a construção de mapas cromossômicos.

Assim, é provável estabelecer-se a distância entre dois genes no mesmo cromossomo, convencionando-se que a unidade de distância corresponde ao espaço

no qual ocorre 1% de permuta. Em outras palavras, o valor numérico da frequência de permuta corresponde ao valor numérico da distância entre os genes. Essa unidade de distância foi, em homenagem a Morgan, denominada **unidade Morgan (morganídio ou centimorgan)**.

Casos em que a permuta só ocorre entre as cromátides internas de um par de cromossomos homólogos, a maior taxa de permuta é de 50% e só se manifesta nos indivíduos heterozigotos para os dois pares de alelos.

Com base no que foi exposto, pode-se concluir:

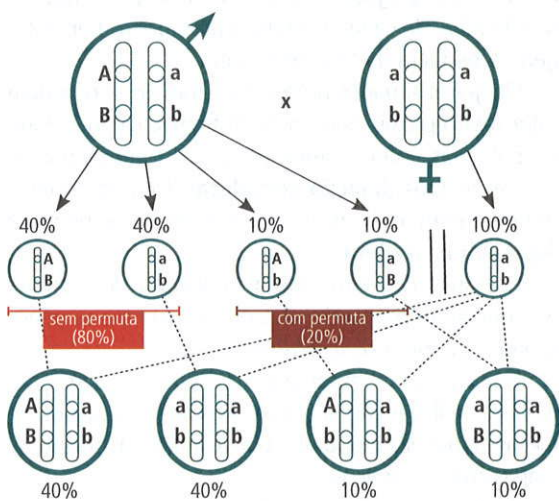
Genes situados no mesmo cromossomo tendem a se manter unidos de uma geração para a seguinte, só se separando pelo processo de permuta, cuja frequência reflete as relações espaciais entre os referidos genes.

### Mapa genético

Com base nos dados descobertos por Morgan, tornou-se possível a elaboração de **mapas genéticos**, em que se representam a localização dos genes ao longo dos cromossomos e suas distâncias relativas. Estas distâncias são deduzidas a partir das porcentagens de recombinação que os genes apresentam entre si.

### Exercício resolvido

01. A taxa de permuta entre os genes **A** e **B**, situados no mesmo cromossomo, em loci diferentes, com os seus respectivos alelos, é de 20%. Qual a distribuição genotípica resultante do cruzamento de:



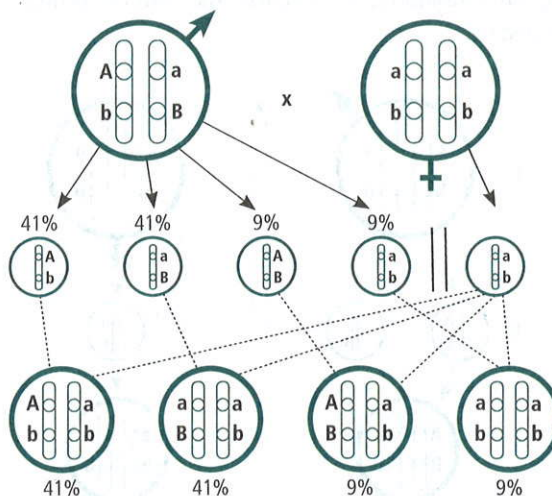
Se a taxa de permuta é de 20%, significa que em 100 meioses, 20 sofrem permuta e 80 não sofrem.

Os gametas resultantes da meiose, onde não ocorreu permuta, são de dois tipos, portanto 40% de cada.

Os gametas resultantes da meiose, onde ocorreu permuta, são também de dois tipos, portanto 10% de cada.

Assim sendo, 80% dos descendentes ( $F_1$ ) são idênticos aos tipos parentais (**P**), 40% de cada, e 20% são de recombinantes, 10% de cada.

02. Sabendo-se que a taxa de permuta entre os genes **A** e **B**, situados no mesmo cromossomo, em loci diferentes, com os seus respectivos alelos, é de 18%, qual a distribuição genotípica resultante do cruzamento entre:



18% de permuta, 9% de cada um dos dois tipos de gametas resultantes da permuta e consequentemente de cada um dos recombinantes da  $F_1$ .

82% sem permuta, 41% de cada um dos dois tipos de gametas resultantes da não ocorrência da permuta e consequentemente de cada um dos dois tipos parentais da  $F_1$ .

### Importante saber

- Na  $F_1$ , sempre os descendentes que apresentam as maiores porcentagens são resultantes da não ocorrência de permuta.
- Na  $F_2$ , sempre a soma da taxa dos recombinantes indica a taxa de permuta.
- No duplo heterozigoto, quando **A** e **B** estão no mesmo cromossomo e **a** e **b** estão no cromossomo homólogo, diz-se que os genes estão em acoplamento.

- No duplo heterozigoto, quando **A** e **B** estão no mesmo cromossomo e **a** e **b** estão no cromossomo homólogo, diz-se que os genes estão em repulsão.

### Testes

40. (UFU-MG) Consideremos a segregação de dois pares de alelo **AB/ab** durante a meiose. Supondo-se que não houve *crossing-over* entre os dois cromossomos, os gametas formados são:

- 50% Ab, 50% Ba.
- 25% A, 25% B, 25% a, 25% b.
- 100% AaBb,
- 50% AB, 50% ab.
- 50% Aa, 50% Bb.

41. (PUC-SP) Sabendo-se que a distância entre dois genes A e B é de 8 unidades, o resultado esperado do cruzamento  $\frac{AB}{aB} \times \frac{ab}{ab}$  será:

|    | $\frac{AB}{aB}$ | $\frac{Ab}{ab}$ | $\frac{aB}{ab}$ | $\frac{ab}{ab}$ |
|----|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| a) | 25%             | 25%             | 25%             | 25%             |
| b) | 4%              | 46%             | 46%             | 4%              |
| c) | 46%             | 4%              | 4%              | 46%             |
| d) | 2%              | 48%             | 48%             | 2%              |
| e) | 48%             | 48%             | 2%              | 2%              |

42. (UFES) Porcentagem de permutação entre o gene **A** e o gene **B** é de 20% e entre o gene **A** e o gene **C** é de 35%. Podemos afirmar que:

- o gene A está situado entre os gens B e C;
- o gene A está mais próximo de C que o gene B;
- o gene A está mais próximo de B do que do gene C;
- a distância entre os genes A e B é a mesma que entre os genes A e C;
- o gene A está equidistante de B e C.

43. No tomateiro, a cor vermelha do fruto é codificada por alelo **R**, dominante sobre o alelo **r**, que codifica a cor amarela do fruto, enquanto a cor amarela da flor é codificada por um alelo **Y**, dominante sobre o alelo **y**, que codifica a cor branca da flor. Uma planta de flor amarela e tomate vermelho foi cruzada com uma planta de flor branca e tomate amarelo. Todos os descendentes desse cruzamento apresentavam flor amarela e tomate vermelho e fo-

ram cruzados com plantas de flor branca e tomate amarelo. O resultado desse cruzamento foi: 42% com flor amarela e tomate vermelho; 43% com flor branca e tomate amarelo; 08% com flor amarela e tomate amarelo; 07% com flor branca e tomate vermelho.

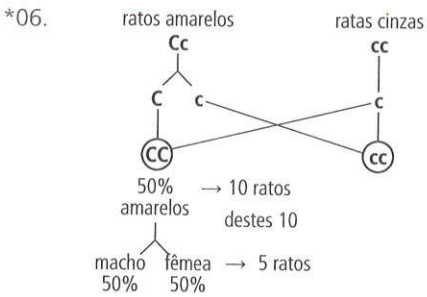
Assinale a alternativa que apresenta a explicação correta para esse resultado.

- Os dois pares de genes estão localizados em pares de cromossomos diferentes.
- Os dois pares de genes estão no mesmo par de cromossomos.
- O gene que codifica flor amarela é epistático sobre o gene que codifica tomate vermelho.
- Ocorre interação gênica entre os dois pares de genes.
- O solo em que os tomateiros foram plantados contém muito ferro, acarretando o resultado observado.



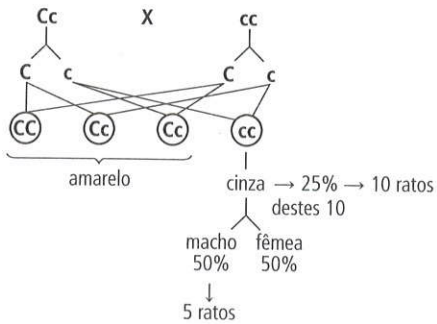
**Gabário**

- 01) A    02) B    03) D    04) A    05) C    06) \*  
 07) \*    08) \*    09) C    10) C    11) C    12) \*  
 13) D    14) A    15) D    16) A    17) E    18) E  
 19) D    20) D    21) D    22) E    23) B    24) B  
 25) B    26) C    27) E    28) D    29) B    30) B  
 31) \*    32) B    33) C    34) B    35) E    36) C  
 37) D    38) B    39) A    40) B    41) B    42) C  
 43) B



Resposta: 5 ratos serão amarelos e fêmeas.

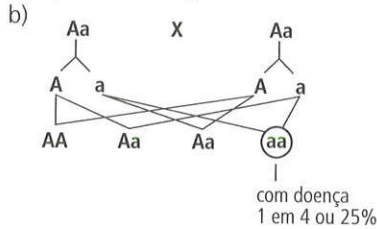
b) Ratos amarelos macho e fêmea cruzando entre si.



Resposta: 5 ratos serão cinzas e machos.

\*07. E, E, E, E

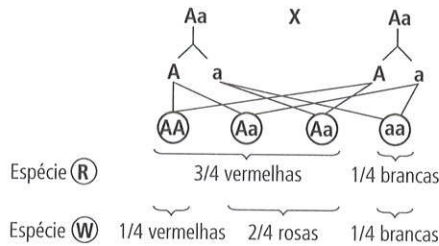
\*08. a) Genes letais são raros na população, mas entre consanguíneos, como há transmissão direta do gene, as probabilidades de expressão seguem as proporções de Mendel se a característica estiver em cromossomos diferentes e for monogênica. Isso faz com que a probabilidade de ocorrência de um gene deletério aumente de 1 para milhões, para 12 ou até 25%, ou seja, 1 em 4.



\*12. a) Na espécie **R** temos uma herança monogênica com dominância completa, em que os genótipos homocigoto dominante e heterocigoto apresentam flores vermelhas e o homocigoto recessivo flores brancas, por isso uma maioria vermelha.

Na espécie **W** temos herança monogênica com codominância, em que o genótipo heterocigoto apresenta fenótipo rosa.

b)



\*31. 15 (01, 02, 04, 08)



# Sumário

Biologia **8**<sup>E</sup>

## **Origem da vida e evolução** ..... 3

### **Teorias da origem da vida e seus experimentos** ..... 3

- Teoria da abiogênese ..... 3
- Criacionismo divino ..... 4
- Panspermia cósmica..... 4
- Hipótese autotrófica ..... 4
- Hipótese heterotrófica ..... 4
- Teoria da endossimbiose ..... 5

### **Evolução** ..... 7

- Evidências da evolução ..... 7

### **Teorias sobre evolução** ..... 8

- Teoria de Lamarck ou lamarckismo..... 9
- Teoria de Darwin ou darwinismo..... 9
- Teoria sintética da evolução ..... 10

### **Evolução da espécie humana** ..... 14





## Origem da vida e evolução



Wikimedia

Terra

## Teorias da origem da vida e seus experimentos

### Teoria da abiogênese

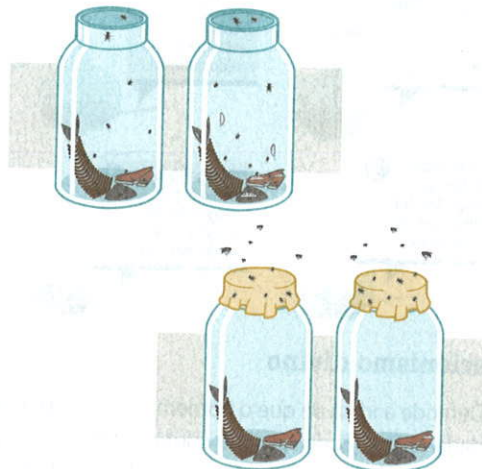
A **teoria da abiogênese** ou **geração espontânea** admitia que os seres vivos podiam surgir espontaneamente da matéria sem vida. Foram necessários dois experimentos para derrubar essa teoria.

### Experimentos de Redi

Em meados do século XVII (1668), o cientista italiano Francesco Redi, investigando a origem dos vermes que surgem nos corpos em decomposição, deu início à contestação da teoria da abiogênese.

Redi observou que corpos de animais em decomposição atraíam moscas e supôs que as larvas encontradas nesses animais pudessem surgir dos ovos dessas moscas. Redi decidiu, então, realizar experimentos para testar sua hipótese: colocou cadáveres de animais e peda-

ços de carne em frascos, deixando alguns deles abertos e tapando outros com gaze. Nos frascos abertos, onde as moscas entravam e saíam livremente, logo surgiram larvas, porém nos frascos tapados com gaze, onde as moscas adultas não podiam entrar, nenhum verme surgiu. Acompanhando o desenvolvimento das larvas dos frascos abertos, Redi observou que elas se transformavam em moscas semelhantes às que sobrevoavam os cadáveres. Esses experimentos realizados por Redi confirmaram sua hipótese e comprovaram que não havia geração espontânea de vermes a partir de corpos em decomposição, além de reforçar a hipótese da biogênese, segundo a qual a vida só poderia surgir a partir de outra vida semelhante preexistente.



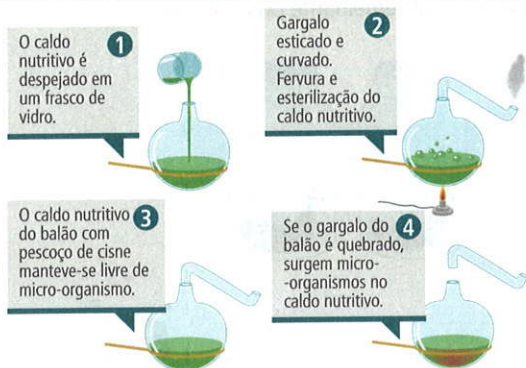
### Experimentos de Pasteur

Mesmo após os experimentos de Redi, que desacreditaram em muito a teoria da geração espontânea, as discussões entre cientistas a respeito da origem dos micro-organismos continuaram, até que em meados do século XIX, **Louis Pasteur**, cientista francês, conseguiu demonstrar definitivamente, por meio de experimentos, que os micro-organismos surgem a partir de outros micro-organismos. Seus experimentos consistiam em colocar meios de cultura nutritivos em frascos de vidro do tipo "pescoço de cisne", dotados de gargalos

longos e estreitos. Em seguida, Pasteur fervia o líquido dos frascos para matar os micro-organismos presentes. Após a fervura, os frascos eram lentamente resfriados, de maneira que os micro-organismos presentes no ar ficariam retidos no gargalo curvo, que funcionava como um filtro.

Dessa maneira, Pasteur constatou que mesmo depois de vários meses ou anos, os meios de cultura dos diversos frascos com pescoço de cisne não apresentavam micro-organismos, isto é, permaneciam estéreis. Porém, caso se quebrasse o gargalo, o líquido nutritivo entrava em decomposição, passadas algumas horas ou dias. Isso ocorria porque com a quebra do gargalo, o caldo entrava em contato direto com o ar, onde estavam os micro-organismos que o contaminavam. Com esse trabalho, Pasteur derrubava definitivamente a teoria da geração espontânea ou abiogênese e reforçava a teoria da biogênese, segundo a qual todo ser vivo tem origem em outro ser vivo da mesma espécie, a partir da reprodução.

#### Experimento de Pasteur em frascos com pescoço de cisne



### Criacionismo divino

Defende a ideia de que o homem foi criado por uma entidade divina. Pode ter uma corrente científicista admitindo a evolução como mecanismo da divindade.

### Panspermia cósmica

Essa hipótese sugere que a vida chegou à Terra através de micro-organismos (cosmozoários) vindos do espaço, transportados provavelmente por meio de meteoritos.

### Hipótese autotrófica

Defende que os primeiros seres vivos que surgiram na Terra seriam autótrofos, ou seja, capazes de fabricar seu próprio alimento.

Essa ideia é pouco aceita, uma vez que os organismos autótrofos atuais apresentam estruturas celulares bastante complexas para produzir seu próprio alimento, o que seria incompatível com seres primitivos que provavelmente apresentavam uma estrutura bastante simples.

### Hipótese heterotrófica

É a mais aceita atualmente. Propõe que os primeiros seres vivos eram incapazes de produzir seu próprio alimento, isto é, heterótrofos, extremamente simples, e que surgiram por meio da evolução lenta da matéria bruta, nas condições em que se encontrava a Terra primitiva. Segundo a hipótese heterotrófica, os organismos primitivos retiravam energia das moléculas orgânicas presentes no meio, por meio de mecanismos semelhantes à fermentação, realizada por algumas bactérias e fungos atuais.

A diferença fundamental entre essa teoria e a da geração espontânea é que essa admite a transformação súbita da matéria bruta em organismo vivo e a hipótese heterotrófica supõe uma lenta evolução que provavelmente durou milhões de anos para ocorrer.

A hipótese heterotrófica está baseada principalmente nos trabalhos do bioquímico russo Aleksander I. Oparin (1894-1980) e do geneticista escocês John B. S. Haldane (1892-1964). Em seus trabalhos, Oparin e Haldane levaram em consideração a possível atmosfera da Terra primitiva.

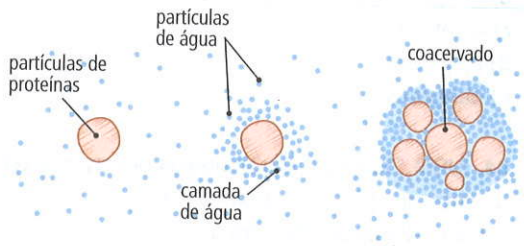
Há aproximadamente quatro bilhões de anos, a Terra apresentava as seguintes condições:

- a atmosfera era formada, basicamente, por:  $\text{NH}_3$  (amônia),  $\text{CH}_4$  (metano), hidrogênio e vapor d'água;
- muitas descargas elétricas durante as tempestades;
- bombardeamento por radiações ultravioletas;
- união de moléculas presentes na atmosfera;
- surgem as primeiras moléculas orgânicas na atmosfera da Terra.

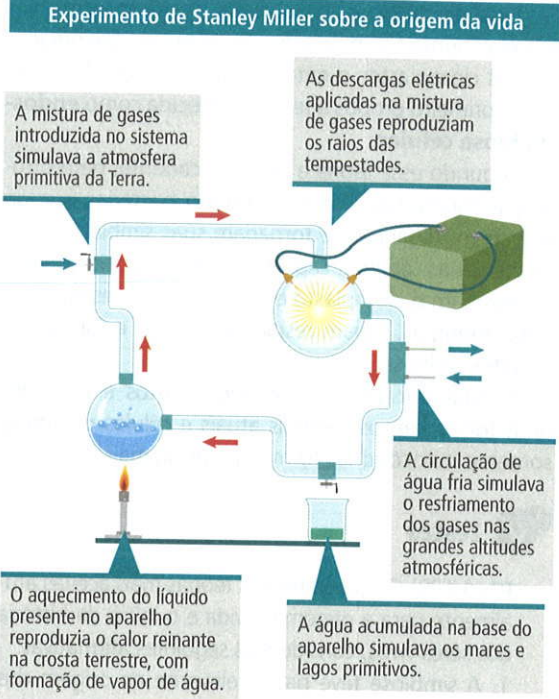
As moléculas orgânicas assim formadas eram levadas pelas águas das chuvas, acumulando-se nos mares primitivos, transformando-se em verdadeiras sopas orgânicas. Essas moléculas teriam se agregado, formando o que Oparin chamou de coacervados, macromoléculas proteicas envolvidas por moléculas de água que as isola do meio.

O coacervado não era ainda um ser vivo, mas uma organização primitiva de substâncias orgânicas, isoladas do meio, porém pode ter sido um importante passo em direção ao aparecimento da vida.

Alguns **coacervados** poderiam ter se tornado mais complexos, passando a apresentar ao seu redor uma membrana constituída por proteínas e lipídios, e em seu interior uma molécula de ácido nucleico, adquirindo assim a capacidade de reprodução. Dessa forma, teriam surgido os primeiros seres vivos que, apesar de primitivos, apresentavam capacidade de se reproduzir, originando outros seres semelhantes a eles.



Essa hipótese foi parcialmente comprovada em laboratório por **Stanley L. Miller** e por **Harold C. Urey**, em 1953, que sintetizaram em laboratório aminoácidos, criando as condições da atmosfera primitiva.



Moléculas orgânicas complexas formadas ao acaso por fenômenos naturais como os coacervados levam os cientistas a propor que os primeiros seres vivos seriam formados por RNA envolto por uma cápsula proteica.

O RNA é menos complexo que o DNA e pode se autoduplicar e originar diretamente proteínas. Como os primeiros seres vivos deveriam ser o mais simples possível, provavelmente seriam heterótrofos, fermentadores formados por RNA e citoplasma envolto por uma cápsula proteica.

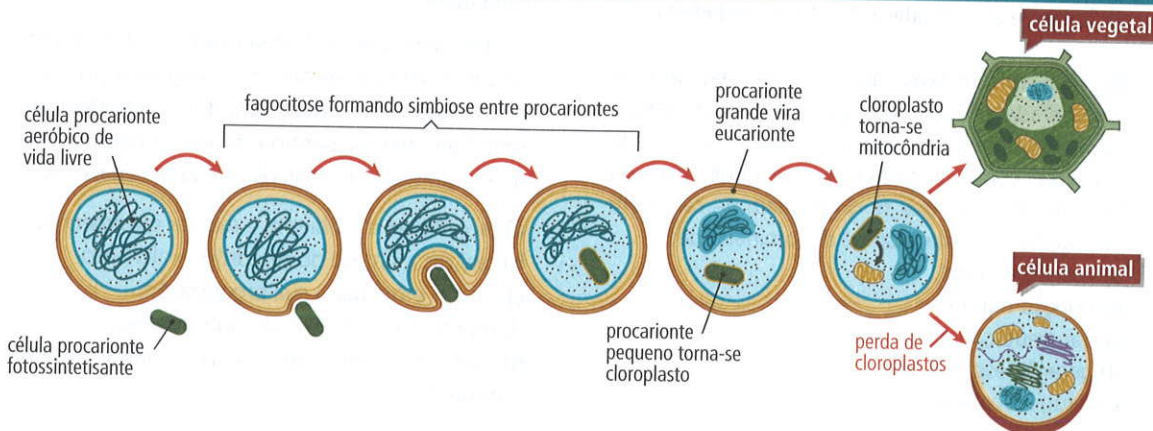
## Teoria da endossimbiose

### Surgimento da célula eucarionte

A ideia mais aceita atualmente para o surgimento das células eucariontes seria o aumento de volume das células procariontes. Isso faria necessário o aumento do tamanho dos mesossomos que se especializariam na carioteca e organelas vesiculares atuais.

### Teoria da endossimbiose celular

#### Endossimbiose celular



Paralelamente aos fenômenos que formaram a célula eucarionte foram ocorrendo simbioses que originaram os cloroplastos e mitocôndrias. Foi Lynn Margulis quem primeiro propôs a teoria conhecida como **endossimbiose celular**.

Segundo essa teoria a célula eucarionte, heterótrofa e fermentadora, teria fagocitado bactérias que ao não serem digeridas se tornariam suas simbiotes. Essas bactérias teriam a capacidade de fazer fotossíntese e formariam o cloroplasto e outras, ou as mesmas bactérias mutadas, fariam respiração celular e formariam as mitocôndrias.

Células eucarióticas com cloroplastos e mitocôndrias formariam os vegetais atuais e células contendo somente mitocôndrias formariam os animais.



### Testes

**01.** (UFPR) Considerando as teorias mais aceitas atualmente para a origem da vida e o início da história dos seres vivos, considere as seguintes afirmativas:

1. A simbiose teve papel relevante na origem dos eucariontes.
2. A diversidade de funções desempenhadas pelo RNA leva a crer que este tenha sido precursor do DNA.
3. Organismos multicelulares, como as plantas, foram responsáveis pelo início do grande aumento da concentração de oxigênio na atmosfera terrestre.
4. A existência do oxigênio na atmosfera terrestre foi imprescindível para o surgimento da vida.

Assinale a alternativa correta.

- a) Somente as afirmativas 1 e 3 são verdadeiras.
- b) Somente as afirmativas 2 e 4 são verdadeiras.
- c) Somente as afirmativas 1, 2 e 4 são verdadeiras.
- d) Somente as afirmativas 3 e 4 são verdadeiras.
- e) Somente as afirmativas 1 e 2 são verdadeiras.

**02.** (PUC-RJ) Em evolução existe uma teoria, hoje considerada ultrapassada, que afirma a possibilidade do surgimento de espécies a partir de matéria não viva, como os girinos que se originariam da lama ou as larvas que se originariam de carne em decomposição. Esta teoria é denominada de:

- a) criação especial.
- b) seleção natural.
- c) transmutação das espécies.
- d) geração espontânea.
- e) refúgio ecológico.

**03.** (Cesgranrio-RJ) Uma das hipóteses sobre a origem da vida na Terra presume que a forma mais primitiva de vida se desenvolveu lentamente, a partir de substância inanimada, em um ambiente complexo, originando um ser extremamente simples, incapaz de fabricar seu alimento. Essa hipótese é conhecida como:

- a) geração espontânea.
- b) heterotrófica.
- c) autotrófica.
- d) epigênese.
- e) pangênese.

**04.** (UFPI) "Todo ser vivo se origina por reprodução de outro ser vivo da mesma espécie."

O texto está de acordo com a:

- a) Teoria da geração espontânea.
- b) Teoria da biogênese.
- c) Hipótese heterotrófica da origem da vida.
- d) Hipótese autotrófica da origem da vida.
- e) Hipótese do criacionismo.

**05.** (PUC-MG) De acordo com a teoria da origem da vida, elaborada por Oparin, são condições essenciais para que a vida tenha surgido na Terra, exceto:

- a) radiações ultravioleta em abundância.
- b) existência de grande quantidade de descargas elétricas.
- c) atmosfera com constituição química bem diferente da atual.
- d) espessa camada de ozônio.
- e) temperatura elevada.

**06.** (FVC-BA) "As perguntas sobre a origem da vida são tão velhas quanto o Genesis e tão jovens como cada manhã."

Para os cientistas ainda não existem respostas definitivas. Contudo, apesar das divergências, os cientistas podem concordar, quando se considera que seria fundamental para o estabelecimento da vida, que as primeiras formas vivas fossem capazes de:

- a) reconhecer o ambiente e realizar movimentos.
- b) realizar a síntese do seu próprio alimento.
- c) crescer e manter a sua organização.
- d) reproduzir-se e transmitir informações.
- e) obter energia das moléculas orgânicas, usando o oxigênio.

## Evolução

Nos dias de hoje, poucos são os cientistas que questionam a capacidade que os seres vivos apresentam de se transformar e produzir nos organismos adaptações ao ambiente em que vivem. Essas transformações explicam a imensa variedade de seres vivos e sua origem a partir de um ancestral comum.

Pode-se concluir, portanto, que a evolução é o processo por meio do qual ocorrem mudanças ou transformações nos seres vivos ao longo do tempo, dando origem a espécies novas.

### Evidências da evolução

As primeiras evidências de que a evolução de fato ocorreu foram fornecidas pelo estudo dos **fósseis**, pela **anatomia** e **embriologia comparada**, e pela **biologia molecular**.

#### Fósseis

São restos ou vestígios de seres vivos que habitaram o planeta há milhares ou milhões de anos. Eles permitem que sejam feitas comparações entre seres que existiram há milhares de anos, e que já não existem, com seres vivos atuais, constituindo-se assim em uma forte evidência de que nosso planeta já foi habitado por seres diferentes.

Isso põe em dúvida a ideia dos seres vivos terem sido feitos com perfeição e serem imutáveis.



Fóssil de ictiossauro, um réptil marinho que viveu há 165 milhões de anos



Esqueleto e reconstituição de um mamute



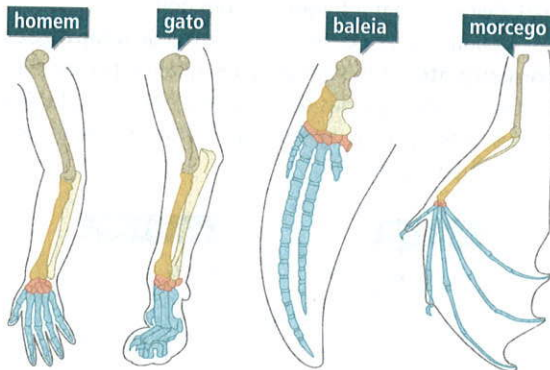
Fóssil de libélula com cerca de 200 milhões de anos

### Anatomia comparada

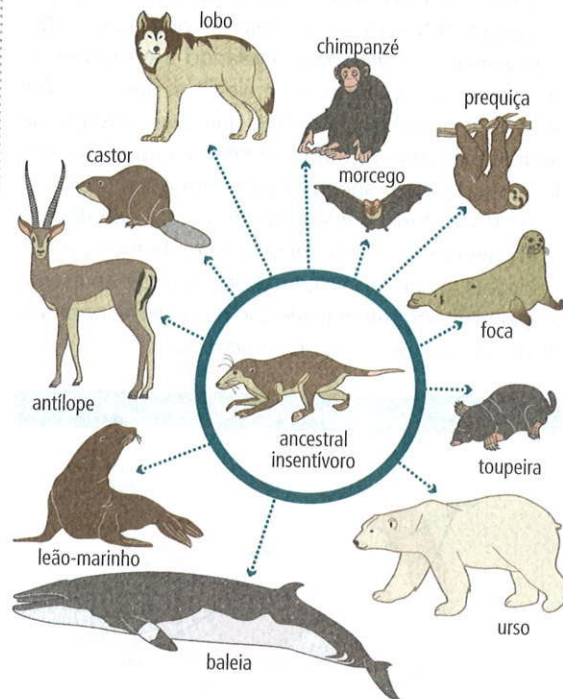
A anatomia comparada mostra semelhanças entre órgãos de seres de espécies diferentes, que são explicadas pela existência de um ancestral comum, dos quais herdaram um plano básico de estrutura corporal.

#### • Órgãos homólogos

São aqueles que têm a mesma origem embrionária, embora possam ter funções diferentes. São exemplos de órgãos homólogos o braço humano, as patas dianteiras do cavalo, as asas de um morcego, a cauda de um cachorro e a cauda do macaco.



### Irradiação adaptativa dos mamíferos



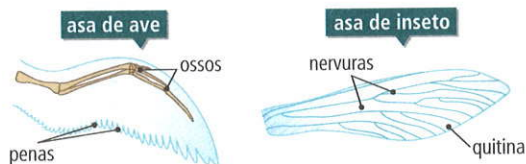
A homologia é um forte argumento favorável à evolução, pois indica que diferentes organismos tive-

ram uma origem evolutiva comum. Os órgãos homólogos decorrem de irradiação adaptativa, fenômeno em que, a partir de um ancestral comum, desenvolvem-se vários grupos que exibem linhas evolutivas divergentes.

### • Órgãos análogos

São aqueles que desempenham funções semelhantes, embora a sua origem embrionária seja diferente. Esta semelhança entre estruturas de diferentes organismos é devida unicamente à adaptação a uma mesma função. É o caso das asas das aves e de insetos ou de nadadeiras de um tubarão e de um golfinho.

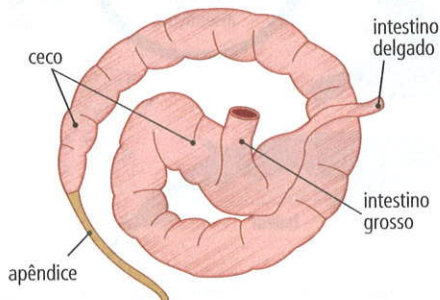
As analogias mostram a ocorrência de **adaptações convergentes**, fenômenos pelos quais espécies diferentes são selecionadas de maneira a exibir adaptações semelhantes que as ajustem às circunstâncias de um determinado ambiente.



### • Órgãos vestigiais

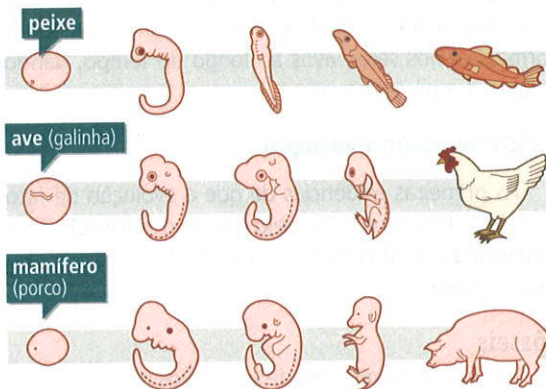
São estruturas pouco desenvolvidas em alguns grupos, geralmente sem função, mas em outros aparecem desenvolvidas e funcionais, revelando a existência de um parentesco evolutivo entre eles. Um dos exemplos na espécie humana é o cóccix, que é um vestígio da cauda observada em outros animais como o macaco. Outro exemplo é o apêndice vermiforme, estrutura pequena e sem função que parte do ceco e não desempenha nenhuma função importante no homem, já nos herbívoros, o apêndice é bem desenvolvido e apresenta um papel importante na digestão da celulose, pois nele vivem micro-organismos que a degradam.

#### O ceco intestinal de coelho



### • Embriologia comparada

O estudo comparado de embriões de diversos grupos de vertebrados mostra a grande semelhança de padrão de desenvolvimento inicial, o que indica a existência de um parentesco evolutivo entre os grupos considerados. Embriões de peixes, anfíbios, répteis, aves e mamíferos apresentam fendas branquiais e cauda, pelo menos em determinadas fases do desenvolvimento.



Embriões de vertebrados diversos. Note a grande semelhança nos primeiros estágios de desenvolvimento.

### Biologia molecular

Atualmente, com o desenvolvimento da biologia molecular, é possível analisar o grau de parentesco entre espécies diferentes a partir da semelhança de suas moléculas de DNA ou de proteínas. Quanto mais distantes evolutivamente forem duas espécies, maior será a diferença genética entre elas, em função das mutações que se acumulam ao longo do tempo no DNA.

## Teorias sobre evolução

Diversas teorias evolutivas já foram elaboradas, destacando-se entre elas as **teorias de Lamarck**, a de **Darwin** e mais recentemente foi formulada a teoria **sintética da evolução**, também conhecida como **neodarwinismo**, que é aceita atualmente pelos cientistas, e incorpora conceitos modernos de genética às ideias essenciais de Darwin sobre seleção natural e a teoria da deriva genética que leva em consideração a biologia molecular.

### Teoria de Lamarck ou lamarckismo

O naturalista francês Jean-Baptiste Lamarck (1744-1829) foi um dos primeiros cientistas a defender e propor uma teoria sistemática de evolução. Sua teoria foi expressa com detalhes no livro *Filosofia Zoológica*, pu-

blicada em 1809. Apesar de não ser totalmente aceita, a teoria de Lamarck foi bastante revolucionária para a época em que foi publicada.

Segundo Lamarck, o mecanismo evolutivo estava baseado em duas leis fundamentais:

### Lei do uso e desuso

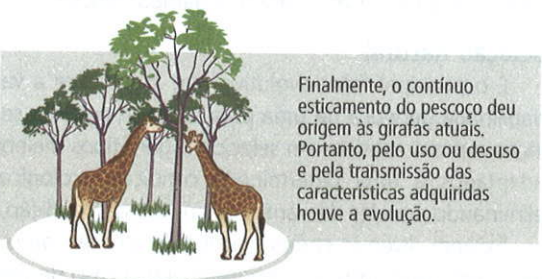
Supõe que o uso frequente de determinadas partes do organismo conduz à hipertrofia, e o desuso prolongado faz com que se atrofiem. A intensidade do uso dos órgãos seria ditada pela necessidade de adaptações às condições impostas pelo meio ambiente.

### Lei da transmissão dos caracteres adquiridos

Supõe que as características adquiridas pelo uso ou perdas pelo desuso são transmitidas aos descendentes.

Essa foi a primeira teoria a tentar explicar a transmissão evolutiva de características. Hoje, para características gênicas, ela não pode ser aplicada, mas para características epigênicas existem cientistas estudando sua aplicação.

Explicação lamarckista para a origem do pescoço longo das girafas atuais:



## Teoria de Darwin ou darwinismo

O naturalista inglês Charles Darwin (1809-1882) desenvolveu uma teoria evolutiva em seu livro *A Origem das Espécies*, que é a base da moderna teoria sintética: **A teoria da evolução por meio da seleção natural**. Segundo a teoria darwinista, os organismos melhor adaptados ao meio em que vivem apresentam maior chance de sobrevivência que os menos adaptados, podendo deixar um maior número de descendentes. Os organismos melhor adaptados são, portanto, selecionados para aquele ambiente.

Os **princípios básicos do darwinismo** podem ser resumidos do seguinte modo:

- Segundo Thomas Malthus, as populações crescem descontroladamente, mas Darwin viu que na natureza (humanos eram exceção) as populações eram constantes por força da predação, doenças, disponibilidade de alimento, ou seja, **seleção natural**. Na natureza as populações são constantes.
- Os indivíduos de uma mesma espécie não são rigorosamente iguais uns aos outros. Há diferenças individuais que tornam alguns mais atraentes, mais fortes, mais rápidos, portanto mais adaptados às condições de vida local do que outros não tão bem dotados.
- Todo organismo apresenta capacidade de se reproduzir, deixando muitos descendentes. Entretanto, apenas alguns dos descendentes chegam à idade adulta e se reproduzem.
- Boa parte das diferenças individuais entre indivíduos de uma mesma espécie são transmitidas aos descendentes.
- Há uma "luta" pela vida entre os descendentes, pois apesar de nascerem muitos indivíduos, poucos atingem a maturidade.
- Na "luta" pela vida, organismos com variações favoráveis às condições do ambiente têm maior chance de sobreviver, quando comparados aos organismos com variações menos favoráveis.
- Os indivíduos com essas variações vantajosas têm maior chance de deixar descendentes. Como há transmissão de características de pais para filhos, estes apresentam variações favoráveis.
- Assim, ao longo das gerações, a atuação da seleção natural sobre os indivíduos mantém ou melhora o grau de adaptação destes ao meio.

Explicação do darwinismo para a origem do pescoço longo presente nas girafas atuais:



As girafas ancestrais provavelmente apresentavam pescoços de comprimentos variáveis. As variações eram hereditárias.



A competição e a seleção natural levaram à sobrevivência dos descendentes de pescoços longos, uma vez que estes conseguiam alimentar-se melhor que as girafas de pescoços curtos.



Finalmente, apenas as girafas de pescoços longos sobreviveram à competição. Portanto, pela seleção natural, ocorreu a evolução.

Os aspectos mais importantes da teoria evolucionista de Darwin foram confirmados pela ciência moderna e ampliados por novas descobertas científicas, principalmente nas áreas de biologia molecular e genética, servindo de base para a elaboração da teoria evolucionista atualmente aceita.

### Teoria sintética da evolução

Também chamada de **neodarwinismo**, esta teoria faz a síntese entre as ideias de Darwin e os novos conhecimentos científicos, especialmente no campo da genética.

Além da **seleção natural**, o neodarwinismo reconhece como principais fatores evolutivos a **mutação gênica** e a **recombinação gênica**.

|                                 | Darwinismo                        | Neodarwinismo   |
|---------------------------------|-----------------------------------|-----------------|
| Evolução                        | Seleção natural                   | Seleção natural |
| Transmissão das características | Herança dos caracteres adquiridos | Herança gênica  |

### Mutação gênica

As mutações gênicas são alterações na sequência de bases nitrogenadas de um determinado gene, durante a duplicação da molécula de DNA. Essas alterações ocorrem devido à perda, adição ou substituição de nucleotídeos, originando um gene capaz de codificar uma proteína diferente. Elas podem ocorrer espontaneamente ou serem provocadas por agentes externos, tais como radiações ionizantes ou substâncias químicas.

As mutações são as principais fontes da variabilidade genética, embora a maioria delas seja deletéria, ou seja, são prejudiciais aos seus possuidores que tendem a ser eliminados.

Eventualmente, um gene mutante pode determinar alguma vantagem ao seu possuidor e, nesse caso, tende a ser preservado pela seleção natural. Outra característica importante das mutações é que quando ocorrem em células somáticas não causam nenhum efeito, sendo importantes apenas aquelas que ocorrem nas células germinativas, que podem passar às gerações seguintes e serem preservadas por meio da reprodução.

As mutações não ocorrem para adaptar um indivíduo ao ambiente, portanto, não são dirigidas. Elas ocorrem ao acaso e, por seleção natural, serão mantidas se forem adaptativas (vantajosas) ou eliminadas se não forem (prejudiciais).

### Recombinação genética

É o mecanismo de reorganização dos genes de indivíduos diferentes que ocorre na reprodução sexuada.

Nos organismos eucariontes, a recombinação genética ocorre através da segregação independente dos cromossomos e da permutação, ou *crossing-over*, fenômenos que ocorrem durante a gametogênese.

### Seleção natural

É o principal fator evolutivo que atua sobre a variabilidade genética de uma população. A ação da seleção natural consiste em selecionar genótipos melhor adaptados a uma determinada condição ecológica, eliminando aqueles desvantajosos para essa condição.

Existem diversas comprovações da atuação da seleção natural e entre elas pode-se citar o caso de me-



lanismo industrial ocorrido com mariposas em regiões industriais da Inglaterra.

Há cerca de um século, as populações de mariposas *Biston betularia* da Inglaterra eram formadas por indivíduos de cor clara. Muito raramente, apareciam indivíduos escuros (melânicos).

A partir de 1900, nas regiões que se tornaram industrializadas, os tipos escuros tornaram-se comuns, enquanto as formas claras se tornaram raras.

Esse fenômeno ocorreu simultaneamente ao escurecimento dos troncos das árvores, impregnados com a fuligem liberada pelas chaminés das fábricas. Os troncos eram anteriormente claros, cobertos por líquens acinzentados.

Assim, um indivíduo menos adaptado em um ambiente pode vir a ser o mais adaptado, caso haja uma mudança ambiental.

A ação seletiva dos pássaros sobre as mariposas da espécie *Biston betularia* pode ser constatada por intermédio de diversos trabalhos experimentais desenvolvidos por vários pesquisadores. Mariposas criadas em grandes quantidades foram libertadas sobre troncos de árvores em áreas rurais e urbanas (industrializadas). Observou-se, utilizando-se binóculos e abrigos especiais, que as variedades que não "combinavam" com o fundo claro (zonas rurais) estavam mais sujeitas à ação predadora dos pássaros insetívoros.



O melanismo industrial é um exemplo da seleção natural. Nas áreas livres de poluição, as mariposas claras levam nítida vantagem sobre as negras, pois sua cor e padrão confundem com os líquens dos troncos das árvores, nos quais descansam durante o dia. Nas áreas industrializadas, predominam as mariposas negras, pois são pouco visíveis nos troncos enegrecidos pela fuligem.

## Especiação

É o processo de formação de novas espécies a partir de uma população ancestral. Na maioria das vezes, o processo tem início com a separação de uma espécie,

em duas ou mais populações, por algum tipo de barreira física de difícil transposição onde antes não existia, como uma massa de água formada, uma cordilheira, um vale, etc. Essa situação é denominada **isolamento geográfico**.

Quando populações são isoladas geograficamente, passam a submeter-se a mutações e seleções naturais diferenciadas, podendo ocorrer, então, alterações em seus genes de forma diferenciada, originando, assim, raças geográficas.

Caso indivíduos de duas populações se encontrem antes que as diferenças genéticas entre eles sejam acentuadas demais, poderão cruzar-se e gerar descendentes férteis, uma vez que ainda pertencem à mesma espécie, porém a raças diferentes.

Se for mantido o isolamento geográfico, as diferenças entre as raças tendem a aumentar, o que poderá levar a um isolamento reprodutivo, ou seja, não serão mais capazes de trocar genes entre si, formando-se assim uma nova espécie.

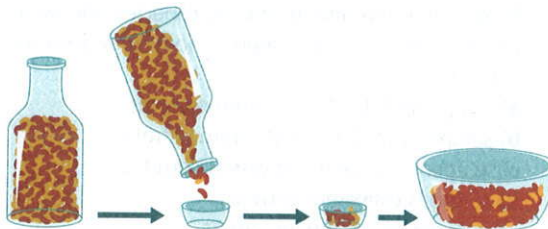
## Deriva genética

O termo **deriva** quer dizer *sem governo, ao sabor dos acontecimentos*. Deriva genética é quando as frequências alélicas de uma população variam 'sem governo' ao longo do tempo. O conjunto dos genes de uma população não é um reflexo exato da geração anterior, mas sim uma amostra sujeita a erros casuais.

Sewall Wright (1889-1988), um dos pais da genética moderna, chamou a atenção de que para pequenas populações haveria, na formação dessa população, um efeito chamado de 'gargalo de garrafa'.

Novas populações são formadas por uma amostra da população original. Sendo assim poderão, por acaso, não conter os alelos na mesma proporção. Um exemplo prático é o efeito fundador que tenta explicar a origem de populações, como os indígenas americanos, em que, por exemplo, para o gene do tipo sanguíneo temos ampla prevalência do alelo recessivo, 98% dos índios americanos são de sangue **tipo O**.

### Efeito gargalo de garrafa



Se ao virar uma garrafa que possui a mesma proporção de bolinhas vermelhas e amarelas (população original) em um copo, e se ao acaso caírem mais bolinhas vermelhas (formação da nova população), a nova população irá possuir 'por acaso' (deriva) mais bolinhas vermelhas.

Foi Motoo Kimura (1924-1994) quem demonstrou que a deriva genética poderia ocorrer em grandes populações desde que os alelos fossem 'neutros', ou seja, que não tivessem suas frequências determinadas pela força da seleção natural.

Kimura usou elegantes modelos matemáticos para propor que na ausência de seleção natural podia se esperar que as populações tivessem polimorfismos (variações alélicas) nas taxas de mutação e eles eram frequentes o suficiente para promover a deriva genética. Essa ideia ficou conhecida como **teoria neutralista**.

#### Consequências da deriva e a teoria neutralista

- A maioria dos genes seria neutra, portanto não sofreria a ação da seleção natural.
- A deriva poderia levar a processos de especiação.
- A deriva reduz a variabilidade genética de pequenas populações.
- Como os polimorfismos podem ter sua frequência determinada, podemos ver o desenvolvimento evolucionário de um gene em diferentes espécies no decorrer do tempo evolutivo.
- Isso gera um relógio evolutivo, no qual um alelo pode ter bases adicionadas ao acaso e com o tempo modificações ocorrem na respectiva proteína.

#### Testes

07. (UFES) Com relação à evolução, observe as afirmativas abaixo:

I. Fósseis são restos ou impressões deixadas por seres que habitaram a Terra no passado e constituem provas de que nosso planeta foi habitado por seres diferentes dos que existem atualmente.

II. A explicação mais lógica para as semelhanças estruturais entre seres vivos com aspectos e modos de vida diferentes é que eles descendem de um mesmo ancestral.

III. A semelhança entre as proteínas de diferentes seres vivos pode ser explicada, admitindo-se que esses seres tenham tido um ancestral comum.

IV. A teoria que admite que as espécies não se alteram no decorrer do tempo denomina-se fixismo. Assinale:

- se apenas I, II e III estiverem corretas.
- se apenas II, III e IV estiverem corretas.
- se apenas I, III e IV estiverem corretas.
- se todas estiverem corretas.
- se todas estiverem incorretas.

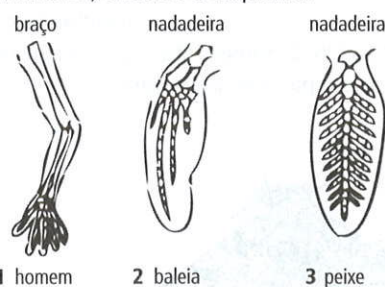
08. (UFF-RJ) A homologia existente entre as asas das aves, as nadadeiras dos cetáceos e os braços dos primatas sugere:

- evolução convergente.
- ancestralidade comum.
- evolução paralela.
- homoplasia funcional.
- descendência análoga.

09. (VUNESP) Na época de Darwin, as ilhas Galápagos abrigavam uma grande variedade de espécies de pássaros, hoje conhecidos como "tentilhões de Darwin", semelhantes entre si quanto à estrutura geral do corpo, mas diferentes quanto ao bico, adaptados a diferentes tipos de alimentos. Estas espécies diferentes originaram-se de uma população ancestral através de um processo conhecido por:

- seleção sexual.
- evolução convergente.
- convergência adaptativa.
- irradiação adaptativa.
- oscilação genética.

10. (FATEC-SP) Observe o esquema:



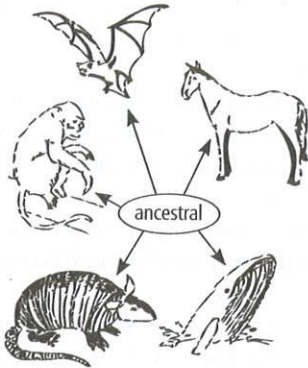
Podemos afirmar que:

- 1 e 2 são órgãos análogos.
- 2 e 3 são órgãos análogos.
- 1 e 3 são órgãos homólogos.
- 2 e 3 são órgãos homólogos.
- 1, 2 e 3 apresentam a mesma origem embrionária.

11. (FUR-RN) É um hábito comum, entre nossa população, cortar o rabo de cachorros. Se cortássemos o rabo de cachorros, durante gerações seguidas, esse caráter deveria transmitir-se a seus descendentes, conforme a teoria de:

- Malthus.
- Darwin.
- Wallace.
- Mendel.
- Lamarck.

12. (PUCPR) A figura ilustra os efeitos da disseminação de um antigo grupo animal a procura de novos ambientes.



Este fenômeno é chamado:

- a) migração.
- b) seleção natural.
- c) convergência adaptativa.
- d) fluxo gênico.
- e) irradiação adaptativa.

13. (PUC-RJ) Lamarck (1744-1829) foi um dos únicos a propor, antes de Darwin, uma hipótese bem elaborada para explicar a evolução. Analise as três afirmações abaixo, verificando a(s) que poderia(m) ser atribuída(s) a Lamarck:

- I. A falta de uso de um órgão provoca a sua atrofia e, conseqüentemente, o seu desaparecimento.
- II. Na luta pela vida, os jovens menos adaptados são eliminados, perpetuando-se os mais fortes.
- III. Os caracteres adquiridos podem ser transmitidos de uma geração a outra.

Marque a opção correta:

- a) somente I.
- b) somente II.
- c) somente III.
- d) somente I e II.
- e) somente I e III.

14. (OSEC-SP) "Seus ancestrais eram animais de quatro patas como os demais répteis. Uma necessidade surgiu e esses animais passaram a se mover, deslizando pelo solo e esticando o corpo para atravessar passagens estreitas. Nessas condições, as patas deixaram de ter utilidade e passaram até a prejudicar o deslizamento. As patas, pela falta de uso, foram se atrofiando e, após um longo tempo, desapareceram por completo."

Este texto exemplifica a teoria denominada:

- a) seleção natural;
- b) morganismo;
- c) darwinismo;
- d) lamarckismo;
- e) fixismo.

15. (UFRN) August Weismann cortou a cauda de camundongos durante mais de cem gerações e verificou que as novas ninhadas continuavam a apresentar aquele órgão perfeitamente normal. Dessa experiência, pode-se concluir que:

- a) as espécies são fixas e imutáveis.
- b) quanto mais se utiliza determinado órgão, mais ele se desenvolve.
- c) a evolução se processa dos seres vivos mais simples para os mais complexos.
- d) a seleção natural e as mutações são fatores que condicionam a evolução dos seres vivos.
- e) os caracteres adquiridos do meio ambiente não são transmitidos aos descendentes.

16. (UFPA) A ideia fundamental de Darwin sobre a origem da diversidade dos organismos é a seguinte:

- a) As espécies de seres vivos foram criadas tal e qual se apresentam atualmente e, portanto, não se alteram com o passar do tempo.
- b) As espécies atuais já existiam desde a origem do mundo e o desaparecimento de algumas era devido a catástrofes periódicas, após o que a vida continuava pela proliferação das remanescentes.
- c) As modificações adquiridas pelos indivíduos durante a sua vida transmitem-se hereditariamente e podem ser profundas a ponto de originarem novas espécies.
- d) As causas da variação hereditária são as recombinações entre genes permutados e as mutações no material genético.
- e) Os caracteres de uma espécie são variáveis e as alterações que se instalam nesta com o passar do tempo são a consequência da seleção das formas mais aptas a sobreviver nas condições reinantes.

17. (UNB-DF/Adaptada) Entre os princípios básicos da teoria da evolução de Darwin, encontram-se os seguintes, exceto:

- a) O número de indivíduos de uma espécie mantém-se mais ou menos constante no decorrer das gerações.

- b) A seleção dos indivíduos de uma espécie se faz ao acaso.
- c) Os indivíduos de uma espécie apresentam variações em suas características.
- d) No decorrer das gerações, aumenta a adaptação dos indivíduos ao meio ambiente.

18. (UNIRIO-RJ) O neodarwinismo admite como principais fatores evolutivos de uma espécie:

- a) imutabilidade e herança dos caracteres adquiridos.
- b) uso e desuso dos órgãos, seleção natural e herança dos caracteres adquiridos.
- c) seleção natural, conservação da espécie e reprodução.
- d) mutação, recombinação gênica e seleção natural.
- e) adaptação, eliminação dos menos aptos e uso e desuso dos órgãos.

19. A deriva genética é o efeito do acaso na distribuição de dois alelos nas populações. Ela ocorre nos chamados genes neutros e tem como consequência:

- a) o aumento da variabilidade genética;
- b) a diminuição da variabilidade genética;
- c) não possui influência sobre as populações, pois somente a seleção natural influencia;
- d) a passagem das características adquiridas para os descendentes.

20. (UFPR) Nos estudos antropogenéticos que vêm sendo realizados por Petzl-Erler, do Departamento de Genética da UFPR, e colaboradores, em populações indígenas Caingangue e Guarani, tem-se observado a predominância da endogamia nesses grupos ameríndios do sul do Brasil. Além disso, certos genes investigados apresentam um polimorfismo discreto (apenas três alelos), talvez consequência de um ou mais fatores, como baixo grau de miscigenação, pequena população fundadora, deriva genética ou alguma vantagem seletiva dos alelos presentes nas populações consideradas. (Entende-se por população fundadora aquela que origina uma nova população e que, por ser geralmente pequena, tem sua variabilidade genética diminuída.) Com relação aos termos destacados no texto acima, é correto afirmar:

- 01) Endogamia é uma situação em que os casamentos acontecem entre indivíduos consanguíneos ou geneticamente aparentados.
- 02) A consequência biológica dos casamentos en-

dogâmicos é o aumento na proporção de genótipos e caracteres heterozigóticos na descendência.

04) Entende-se por polimorfismo a ocorrência de fenótipos distintos numa população intercruzante, resultado de alelos diferentes cuja frequência nunca ultrapassa 99%.

08) A deriva genética reduz a variabilidade genética nas pequenas populações, devido a flutuações aleatórias na frequência de alelos, independentemente de seu valor adaptativo.

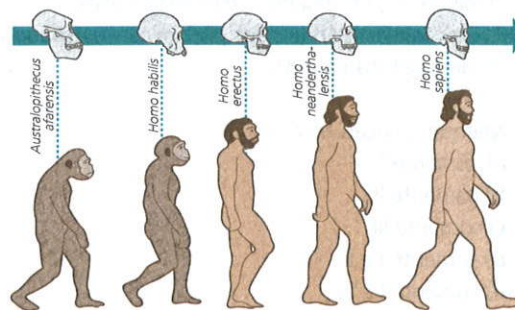
16) A seleção natural tende a não manter os alelos que conferem melhor adaptação ao meio.

21. (UFPR) Quanto aos fatores responsáveis pela ocorrência da evolução nos seres vivos, é correto afirmar:

- a) A mutação gera diversidade nas populações, e a seleção natural a reduz.
- b) A deriva genética é imprescindível para a geração de diversidade nas populações.
- c) Sem a seleção natural e a deriva genética não ocorre diversidade entre os seres vivos.
- d) A migração genética não pode ser responsável pelo aumento da diversidade nas populações.
- e) A mutação aumenta a diversidade nas populações, e a migração genética a reduz.

## Evolução da espécie humana

### *Australopithecus e Homo habilis*



Os primeiros primatas que começaram a desenvolver a postura ereta ou bípede foram os **hominídeos**. Estas e outras características que levaram ao surgimento dos primeiros hominídeos, a partir de um ancestral, ocorreram na África há aproximadamente 3,8 milhões de anos. Os primeiros hominídeos pertenceram ao gênero *Australopithecus* e uma das primeiras espécies foi o *Australopithecus afarensis*. Eles apresentavam uma baixa estatura (cerca de 1 metro de altura), testa baixa,

postura bípede, ereta ou semiereta. Seu crânio apresentava um baixo volume, em torno de 450 a 500 cm<sup>3</sup>, cerca de três vezes menor ao do homem moderno.

Provavelmente, a partir dos *Australopithecus*, a cerca de 1,8 milhão de anos, devem ter surgido os primeiros hominídeos pertencentes ao gênero *Homo*. A primeira espécie desse gênero foi chamada de *Homo habilis*, e existem indícios de que viveram na África por mais de meio milhão de anos. Possuíam habilidade de transformar pedras em objetos para uso e seu crânio apresentava um volume de 650 cm<sup>3</sup>.

### *Homo erectus*

Possivelmente, a partir do *Homo habilis*, há cerca de 1,5 milhão de anos, surgiu também na África o *Homo erectus*, um pouco mais alto que o *Homo habilis*, com maxilares menos proeminentes, testa baixa e grandes protuberâncias ósseas em torno das órbitas dos olhos. Os mais antigos *H. erectus* apresentavam um volume craniano de cerca de 850 cm<sup>3</sup>, enquanto nos mais recentes, esse volume era superior a 1 000 cm<sup>3</sup>, apresentando, com isso, um cérebro de maior tamanho. O *H. erectus* já usava roupas para se proteger do frio, feitas com a pele de animais que caçava, fazia fogueiras e habitava cavernas ou locais abrigados. Grupos dessa espécie migraram para a Europa e para a Ásia, onde foram encontrados os fósseis mais recentes, indicando que se extinguíram há cerca de 200 mil anos.

### *Homo sapiens*

Acredita-se que a partir do *H. erectus*, há cerca de 200 mil anos, no continente africano, surgiram os primeiros seres humanos pertencentes a nossa espécie. Novas subespécies teriam surgido: a *Homo sapiens neanderthalensis* e a *Homo sapiens sapiens*.

#### • *Homo sapiens neanderthalensis*

O *Homo sapiens neanderthalensis* ou homem de Neandertal, uma subespécie primitiva do homem, viveu entre 130 a 30 mil anos atrás e teria coexistido com a espécie humana moderna.

Através do documentário fóssil existente, sabe-se que eram de estatura baixa e atarracados, com face ainda proeminente e capacidade craniana ligeiramente menor que a do homem atual. A região do cérebro responsável pela fala era bem desenvolvida. Fabricavam ferramentas de pedra bem trabalhadas, as quais usavam para furar peles e produzir vestimentas. Moravam em cavernas e abatiam presas de grande porte. Esses hominídeos já enterravam os seus mortos junto com suas armas e utensílios, provavelmente em rituais fúnebres.

Há cerca de 40 mil anos, o homem de Neandertal se extinguiu e os motivos para este acontecimento ainda não se conhecem. Alguns cientistas acham que a extinção ocorreu devido à competição com o homem atual; outros acreditam que cruzamentos entre eles e o *H. sapiens sapiens* diluíram suas características a ponto de torná-las irreconhecíveis.

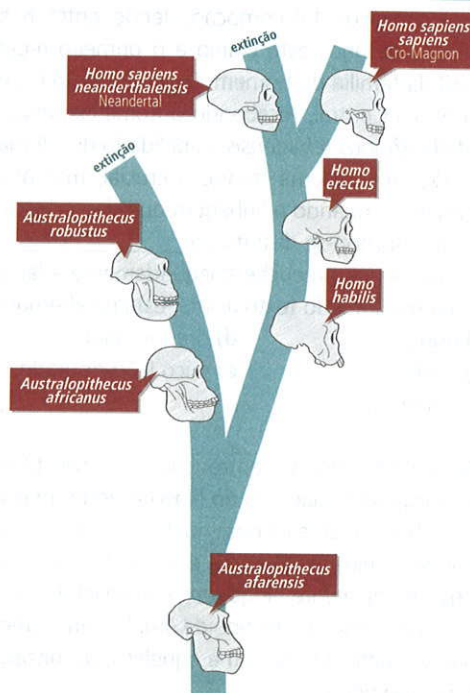
#### • *Homo sapiens sapiens*

O *Homo sapiens sapiens*, subespécie a qual pertencemos, deve ter surgido há cerca de 90 mil anos. São chamados de **homens de Cro-Magnon**, pelo fato de seus fósseis terem sido encontrados na localidade de Cro-Magnon, na França. Tanto a sua estatura quanto o seu volume craniano eram equivalentes ao do homem atual.

Há cerca de 50 mil anos, a espécie humana já tinha se espalhado por quase todos os continentes, e sua evolução continuou, chegando ao que conhecemos atualmente. Nas distintas regiões do planeta, onde sofreram diferentes pressões seletivas, as populações humanas diversificaram-se, tanto genética, quanto morfológicamente, originando as diversas raças que hoje habitam o planeta.

### Classificação da espécie humana desde reino até espécie

#### Representação provável da evolução do homem



|          |              |
|----------|--------------|
| Reino    | Animalia     |
| Filo     | Chordata     |
| Subfilo  | Vertebrata   |
| Classe   | Mammalia     |
| Ordem    | Primata      |
| Subordem | Antropoidea  |
| Família  | Hominidae    |
| Gênero   | Homo         |
| Espécie  | Homo sapiens |

**Testes**

22. (UFES) "Tomai, um rosto do passado distante."

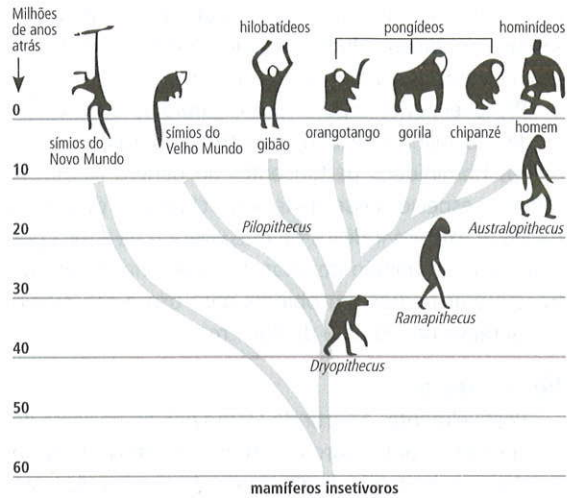


Esta descoberta está revolucionando o estudo da evolução humana. De fato, desde que Raymond Dart descreveu, em 1925, o primeiro homem macaco, o *Australopithecus africanus*, nenhum outro fóssil provocou tal comoção. Tendo entre 6 a 7 milhões de anos este crânio é o primeiro registro fóssil da família do homem. Descoberto no Chade, na África Central, recebendo o nome científico de *Sahelanthropus tchadensis* e apelidado de "Tomai", ele documenta uma transição crucial, mas pouco conhecida, quando a linhagem que deu origem ao homem tornou-se distinta do \_\_\_\_\_.

A palavra que preenche adequadamente a lacuna, na última linha do texto acima, está na alternativa:

- a) gorila;
- b) coala;
- c) chimpanzé;
- d) orangotango;
- e) mico leão-dourado.

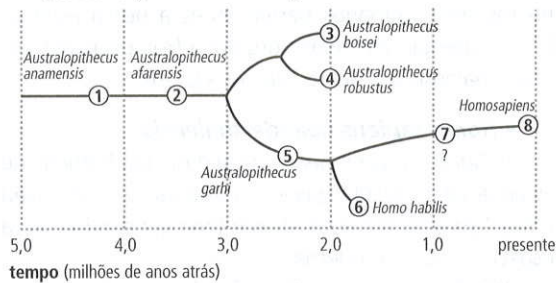
23. (UNIUBE-MG) Os antropoides são constituídos por grupos de macacos do Novo Mundo, macacos do Velho Mundo e os hominídeos, que agrupam os grandes símios antropoides e o homem. Observe o esquema da árvore filogenética provável dos antropoides e indique o antropoide atual evolutivamente mais próximo do homem e aqueles mais distantes, respectivamente:



- a) *Australopithecus* e símios do Velho Mundo.
- b) Chimpanzé e macacos do Novo Mundo.
- c) *Australopithecus* e macacos do Novo Mundo.
- d) Chimpanzé e *Dryopithecus*.

24. (PUC-RS) Registros encontrados na África de ossadas fósseis de *Australopithecus* (do latim *australos* = do sul + *pithecus* = macaco) são evidências de que o homem teve sua origem evolutiva nesse continente. A teoria da origem africana propõe que o ser humano moderno (*Homo sapiens*) surgiu há cerca de 130 mil anos na África e dispersou-se por outros continentes há cerca de 100-60 mil anos.

**Árvore filogenética da linhagem do homem moderno**



Evidências científicas indicam atualmente a árvore filogenética da linhagem do homem moderno conforme a representação acima, na qual o número 7 corresponde à espécie:

- a) *Homo neanderthalensis*.
- b) *Australopithecus habilis*.
- c) *Australopithecus erectus*.
- d) *Australopithecus sapiens*.
- e) *Homo erectus*.

 **Gabarito**

|       |       |       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 01) E | 02) D | 03) B | 04) B | 05) D | 06) D |
| 07) D | 08) B | 09) A | 10) E | 11) E | 12) E |
| 13) E | 14) D | 15) E | 16) E | 17) B | 18) D |
| 19) B | 20) * | 21) A | 22) C | 23) B | 24) A |

\*20. 13 (01, 04 e 08)







# Sumário

Biologia **9<sup>E</sup>**

## **Ecologia** ..... 3

### **Níveis de organização dos seres vivos** ..... 3

- Componentes de um ecossistema ..... 4
- Habitat* e nicho ecológico ..... 4
- Fluxo de energia e matéria do ecossistema ..... 5
- Pirâmides ecológicas ..... 5

### **Ciclos biogeoquímicos** ..... 8

- Ciclo da água ..... 8
- Ciclo do oxigênio ..... 9
- Ciclo do carbono ..... 9
- Ciclo do nitrogênio ..... 10

### **Relações ecológicas entre seres vivos de uma comunidade** ..... 10

- Relações intraespecíficas ..... 11
- Relações interespecíficas ..... 11

### **Dinâmica populacional** ..... 14

- Densidade ..... 14
- Taxa de crescimento ..... 14
- Fatores que regulam o crescimento populacional ..... 15
- Sucessão ecológica ..... 15

### **Divisões da biosfera** ..... 18

- Epinociclo: biociclo das terras ..... 18
- Formações fitogeográficas do Brasil ..... 20
- Talassociclo ..... 21
- Limnociclo ..... 22

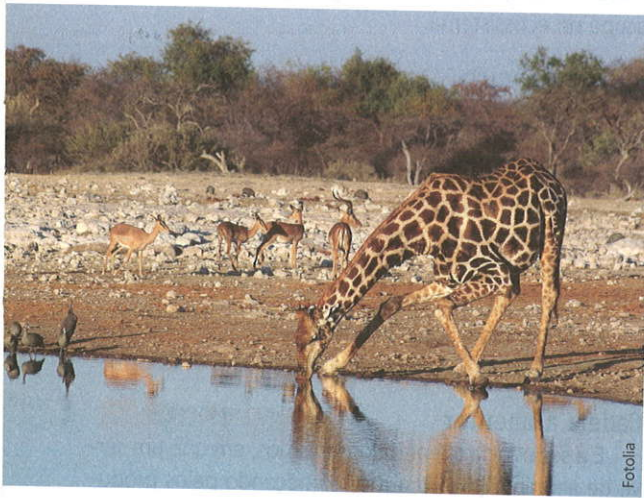
### **Poluição ambiental** ..... 22

- Poluição do ar ..... 22
- Poluição da água ..... 23
- Poluição do solo ..... 23



# Biologia

## Ecologia



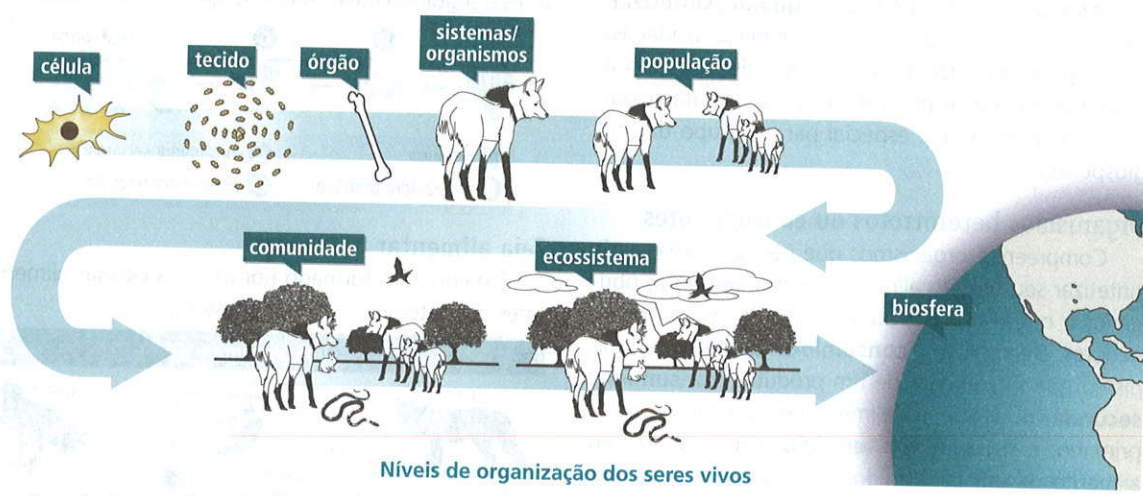
É o ramo da Biologia que estuda as relações entre os seres vivos e o ambiente onde vivem.

A palavra ecologia (do grego *oikos* = casa; *logos* = estudo) foi empregada pela primeira vez em 1866, pelo biólogo alemão Ernest Haeckel, para designar o estudo das interações dos organismos entre si e com o meio ambiente.

### Níveis de organização dos seres vivos

Pode-se delimitar o campo de estudo da ecologia considerando-se o conceito de níveis de organização dos seres vivos, que são:

célula → tecido → órgão → sistema → organismo → população → comunidade → ecossistema → biosfera



Níveis de organização dos seres vivos

A ecologia estuda as formas de organização dos seres vivos que estão acima do nível organismo. Estuda, portanto, a **população**, a **comunidade**, o **ecossistema** e a **biosfera**.

O termo **população** refere-se ao conjunto de indivíduos de uma mesma espécie, que ocupa uma determinada área, na mesma unidade de tempo.

**Comunidade** ou **biocenose** é o conjunto de todas

as populações que vive em uma mesma área.

Sobre a comunidade, atuam vários fatores físicos e químicos do ambiente, como a luz, a umidade, a temperatura, sais minerais, etc. Esses fatores são chamados de **fatores abióticos** ou **biótopo**.

Ao conjunto formado pela comunidade e pelo biótopo, damos o nome de **ecossistema**, que é considerado a unidade ecológica básica e compreende o con-

junto das interações existentes entre a comunidade ou a biocenose com o biótopo ou fatores abióticos.

Ao conjunto formado por todos os ecossistemas da Terra, damos o nome de **biosfera**, que constitui a porção do planeta habitada por seres vivos.

### Componentes de um ecossistema

Todos os ecossistemas são formados por dois componentes:

- **Componentes abióticos:** Representados pelos fatores físicos e químicos (biótopo), tais como luminosidade, temperatura, disponibilidade de água, tipos de solo, etc.
- **Componentes bióticos:** Representados pelos seres vivos que compõem a **comunidade biótica** ou **biocenose**.

Os componentes bióticos de um ecossistema podem ser divididos em **autótrofos**, **heterótrofos** e **decompositores**.

### Organismos autótrofos ou produtores

São organismos capazes de fabricar seu próprio alimento a partir de substâncias inorgânicas simples, obtidas do meio ambiente. De acordo com a fonte de energia utilizada na síntese de matéria orgânica, os produtores podem ser classificados em **foto-sintetizantes** (obtem energia da luz) e **quimiosintetizantes** (obtem energia de substâncias químicas oxidadas).

Os principais produtores dos ecossistemas são as algas unicelulares e pluricelulares e as plantas clorofiladas, com destaque especial para o grupo das angiospermas.

### Organismos heterótrofos ou consumidores

Compreende organismos que não são capazes de sintetizar seu próprio alimento, sendo, portanto, obrigados a nutrir-se dos produtores ou de outros consumidores. Denomina-se **consumidor primário** o organismo que se alimenta de um produtor; **consumidor secundário** o que se alimenta de um consumidor primário; e **consumidor terciário** o que obtém seu alimento de um consumidor secundário, e assim por diante.

### Decompositores

São organismos heterótrofos, que se nutrem de matéria orgânica morta (plantas ou animais), desagregada e transformada em compostos inorgânicos simples, que são devolvidos ao meio ambiente e podem ser reutilizados pelos produtores. São exemplos de decompositores as **bactérias** e os **fungos**.

### Nível trófico

É o conjunto de todos os organismos de um ecossistema que apresenta o mesmo tipo de nutrição.

### Habitat e nicho ecológico

#### Habitat

Percebemos na natureza que cada organismo se adapta melhor a uma determinada região, essa com clima e demais organismos da comunidade bastante típicos. Assim, *habitat* é o **lugar** que um organismo ocupa no ecossistema.

#### Nicho ecológico

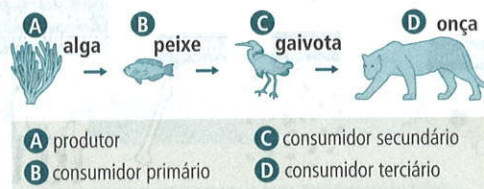
O conceito de nicho ecológico é mais restrito do que o de *habitat*. Entende-se por nicho a posição biológica ou funcional que uma determinada espécie ocupa em um determinado ambiente. Este lugar funcional é relacionado a tudo o que a espécie faz durante o seu período vital. O nicho envolve o que o ser vivo faz para sobreviver naquele local.

**Habitat:** lugar físico ocupado.

**Nicho:** lugar funcional ocupado.

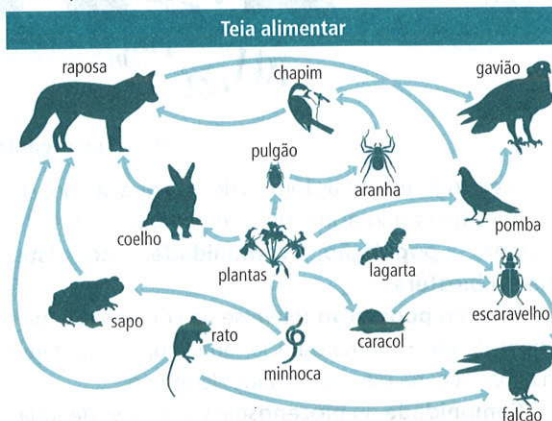
### Cadeia alimentar

É a sequência linear de organismos, em que um serve de alimento para o outro, começando pelos produtores e seguindo até os diversos tipos de consumidores.



### Teia alimentar

É o conjunto formado por diversas cadeias alimentares que interagem num ecossistema.



## Princípio de Gause

O princípio de Gause afirma que duas populações de espécies diferentes de animais ou vegetais não podem ocupar o mesmo nicho ecológico por muito tempo. Caso isso ocorra, uma delas será eliminada por competição. De acordo com o princípio de Gause, espécies diferentes podem ter o mesmo *habitat*, mas não o mesmo nicho ecológico.

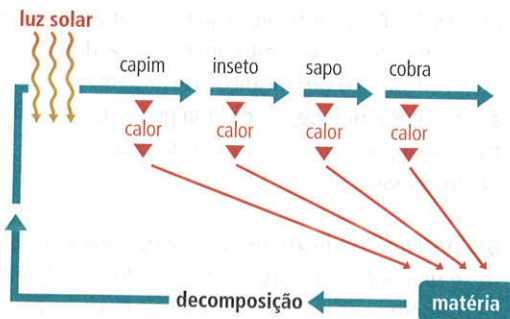
## Fluxo de energia e matéria do ecossistema

Ao se alimentar, um organismo estará obtendo **energia** para o desempenho das diversas atividades vitais que nele ocorrem, e **matéria**, isto é, um conjunto de elementos químicos que constituem a matéria-prima utilizada na construção da matéria viva.

Os produtores de um ecossistema são os únicos organismos capazes de produzir alimento, portanto são a "**porta de entrada**" de energia no mundo vivo. Por isso o fluxo energético desenvolve um trajeto no sentido **produtores** → **consumidores** → **decompositores**. Essa energia, no entanto, diminui à medida que passa pelos consumidores, pois parte dela é gasta para a realização dos processos vitais do organismo (respiração celular) e outra perde-se sob a forma de calor; sempre restando apenas uma parcela menor de energia disponível para o nível seguinte. A energia, portanto, apresenta um **fluxo decrescente** ao longo da cadeia alimentar.

Além de decrescente, a energia tem sempre um **fluxo unidirecional** e consequentemente acíclico, uma vez que penetra no mundo vivo na forma de energia luminosa e dele sai na forma de calor, não sendo reaproveitada. Ao contrário da energia, a matéria tem um fluxo cíclico, pois penetra no mundo vivo através dos organismos autótrofos, na forma de compostos simples, como:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , sais minerais, etc. e, pela atividade dos decompositores, pode ser reutilizada pelos seres vivos, uma vez que estes transformam a matéria orgânica morta em compostos inorgânicos simples.

Observe o esquema abaixo:



## Curiosidades

Estima-se que apenas 10% da energia passa de um nível trófico para o nível trófico seguinte, daí o fato de uma cadeia alimentar dificilmente apresentar mais do que cinco níveis tróficos, já que a quantidade de energia se torna cada vez menor ao longo da cadeia.

## Produtividade

É chamada de **produtividade primária bruta** (PPB) a quantidade de matéria orgânica sintetizada pelos organismos autótrofos em determinado período de tempo. A quantidade de matéria orgânica que sobra após serem descontados os gastos com a respiração celular é denominada de **produtividade primária líquida** (PPL).

## Pirâmides ecológicas

As pirâmides ecológicas constituem maneiras de expressar graficamente as transferências de matéria e energia nos ecossistemas, mostrando as relações entre os diferentes níveis tróficos em termos de quantidade.

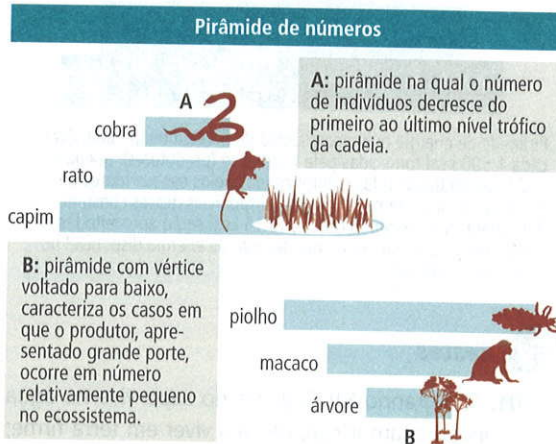
Há três tipos de pirâmides ecológicas: de **números**, de **biomassa** e de **energia**.

## Pirâmides de números

Indica o número de indivíduos em cada nível trófico da cadeia alimentar. Por exemplo, na cadeia alimentar formada por capim, ratos e cobras, a pirâmide de números mostra quantas plantas existem no nível dos produtores, quantos ratos existem no nível dos consumidores primários e quantas cobras existem no nível dos consumidores secundários.

De acordo com a cadeia alimentar considerada, a pirâmide de números terá o vértice voltado para cima ou para baixo (pirâmide invertida).

### Exemplos:

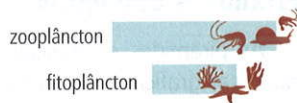


## Pirâmide de biomassa

Expressa a quantidade de biomassa ou matéria viva acumulada em cada nível trófico da cadeia alimentar. Essa pirâmide pode ser expressa em gramas, quilogramas ou toneladas, dependendo do caso. Admite-se que um determinado elo da cadeia incorpora apenas cerca de 10% da biomassa adquirida dos elos que lhes servem de alimento.



**Pirâmide de biomassa invertida:** os produtores (algas) reproduzem-se rapidamente, de maneira a renovar continuamente o "estoque" de matéria disponível.



## Pirâmide de energia

Expressa a quantidade de energia acumulada em uma determinada área ou volume por unidade de tempo em cada nível trófico da cadeia alimentar. Essa pirâmide indica a produtividade de um ecossistema já que leva em conta o fator tempo. A unidade de medida de energia é a **caloria** (cal), usando-se normalmente o múltiplo **quilocaloria** (kcal).

Por existir perda de energia, a cada nível trófico da cadeia alimentar, a pirâmide de energia nunca é invertida.



Pirâmide de energia num ecossistema de floresta temperada. Para cada 1 500 kcal fornecidas pela vegetação (produtores), apenas 150 kcal são transferidas e aproveitadas pelos consumidores de primeira ordem. Para cada 150 kcal disponíveis desses consumidores para os de segunda ordem, só 15 kcal serão aproveitadas. O aproveitamento é sempre de um décimo de energia disponível no nível trófico anterior.

## Testes

01. (Cesgranrio-RJ) O girino do sapo vive na água e, após metamorfose, passa a viver em terra firme;

quando adulto, oculta-se, durante o dia, em lugares sombrios e úmidos para proteger-se de predadores e evitar a dessecação. Ao entardecer, abandona seu refúgio à procura de alimento. Como o acasalamento se realiza na água, vive próximo a rios e a lagoas. Esta descrição do modo de vida do sapo representa o seu:

- a) *habitat*.
- b) ecossistema.
- c) nicho ecológico.
- d) biótopo.
- e) bioma.

02. (VUNESP) "Depois de mortos, somos todos comidos pelo bicho da terra." Essa é uma expressão popular que você já deve ter ouvido. O termo "bicho da terra" corresponde a:

- a) decompositores;
- b) consumidores primários;
- c) consumidores secundários;
- d) consumidores terciários;
- e) consumidores quaternários.

03. (UNIFOR-CE) Em um campo, os bois se alimentam do capim e os anjos que comem seus carrapatos fazem parte do mesmo:

- a) ecossistema e da mesma população;
- b) nicho ecológico e da mesma comunidade;
- c) nicho ecológico e da mesma cadeia alimentar;
- d) *habitat* e da mesma população;
- e) *habitat* e da mesma cadeia alimentar.

04. (FUR-RN) Num ecossistema:

- a) os seres vivos interagem entre si e com o meio ambiente;
- b) os seres vivos interagem entre si, mas não com o meio ambiente;
- c) ocorre uma interação apenas entre os fatores abióticos;
- d) ocorre uma interação apenas entre os fatores bióticos;
- e) existem apenas os fatores bióticos.

05. (UNIFOR-CE) Em um aquário marinho, foram colocados seis peixes, oito anêmonas e dois caranguejos. Esses 16 organismos constituem:

- a) uma comunidade;
- b) uma população;
- c) um ecossistema;
- d) uma pirâmide ecológica;
- e) um *habitat*.

06. (VUNESP) O fluxo de energia em um ecossistema é unidirecional e, iniciando-se pelos produtores:

- a) mantém-se constante nos diversos níveis tróficos;

- b) mantém-se constante dos produtores aos consumidores de primeira ordem, aumentando progressivamente nos demais níveis tróficos;
- c) aumenta dos produtores aos consumidores de primeira ordem, mantendo-se constante nos demais níveis tróficos;
- d) aumenta progressivamente nos diversos níveis tróficos;
- e) diminui progressivamente nos diversos níveis tróficos.

07. (VUNESP) Considere um ecossistema representado por um campo. Nesse ecossistema, existem plantas, como o capim, gafanhotos que se alimentam do capim e pássaros que se alimentam dos gafanhotos. No solo, existem bactérias e fungos, que utilizam como alimento o capim e os gafanhotos e pássaros mortos. É correto afirmar sobre esse ecossistema que o(s):

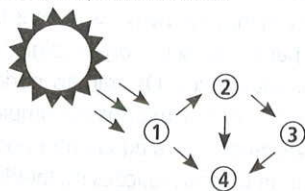
- a) capim pertence ao nível trófico dos consumidores primários;
- b) gafanhotos devem ser mais abundantes que os pássaros;
- c) pássaros devem ser mais abundantes que os gafanhotos;
- d) fungos e bactérias representam os produtores;
- e) vegetais representam a base da cadeia alimentar, pois ao respirarem, absorvem gás carbônico e liberam oxigênio.

08. (UFAC) "Ao derrubarem a árvore, não haverá mais sementes: logo, as cutias desaparecerão por falta de comida e eu não terei mais carne para comer." (Palavras de um seringueiro do Xapuri.)

O trecho acima exemplifica:

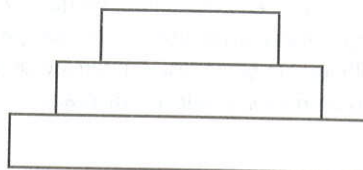
- a) uma população;
- b) uma cadeia alimentar;
- c) um nicho ecológico;
- d) o ciclo da energia;
- e) um ecossistema.

09. (FUVEST-SP) Na teia alimentar, as setas indicam o sentido do fluxo de energia. Os números 2, 3 e 4 representam, respectivamente:



- a) Produtor, herbívoro e carnívoro.
- b) Produtor, decompositor e herbívoro.
- c) Herbívoro, carnívoro e produtor.
- d) Herbívoro, carnívoro e decompositor.
- e) Decompositor, carnívoro e produtor.

10. (FCMSC-SP) Considere a seguinte pirâmide de números:



Qual das seguintes cadeias alimentares corresponde à pirâmide considerada?

- a) Alga → zooplâncton → crustáceo → peixe.
- b) Bananeira → larva de mosca → protozoário.
- c) Capim → capivara → onça.
- d) Árvore → erva-de-passarinho → bactéria.
- e) Milho → rato → gavião → piolho.

11. (UFMS-RS) O fluxo de energia é desencadeado nos ecossistemas através de:

- a) transferência de massa pelos consumidores;
- b) decomposição de compostos químicos pelos decompositores;
- c) digestão de alimentos pelos produtores;
- d) absorção de luz pelos autótrofos;
- e) queima de glicose pelos heterótrofos.

12. (Cesgranrio-RJ) Numa cadeia alimentar de um ecossistema, a quantidade de energia que se transfere de um nível trófico para outro é progressivamente menor, porque parte da energia:

- a) fica retida nos níveis tróficos iniciais;
- b) circula entre todos os organismos do ecossistema;
- c) se perde em forma de calor;
- d) se transforma em reserva energética;
- e) se transfere para outros ecossistemas de menor energia.

13. (UNIJUÍ-RS) Na sequência abaixo:

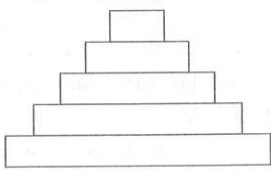
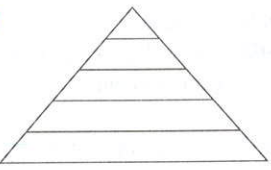
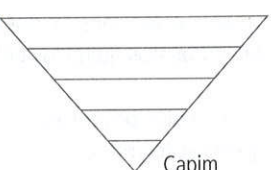
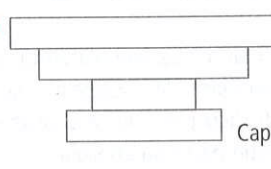
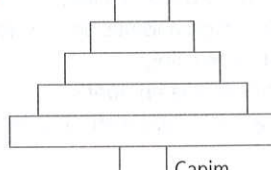
produtor → consumidor primário →  
consumidor secundário → consumidor terciário →  
consumidor quaternário

A maior quantidade de energia está no:

- a) produtor;

- b) consumidor primário;
- c) consumidor secundário;
- d) consumidor terciário;
- e) consumidor quaternário.

14. (FMU-FIAM-FAAM-SP) Em campos próximos a banhados vivem bandos de preás que, à noite, saem para se alimentar de capim tenro; a preá é parasitada por centenas de pulgas que vivem entre seus pelos, e as pulgas, por sua vez, são parasitadas por milhares de bactérias. A pirâmide de números que representa esta cadeia alimentar é:

- a)  Capim
- b)  Capim
- c)  Capim
- d)  Capim
- e)  Capim

## Ciclos biogeoquímicos

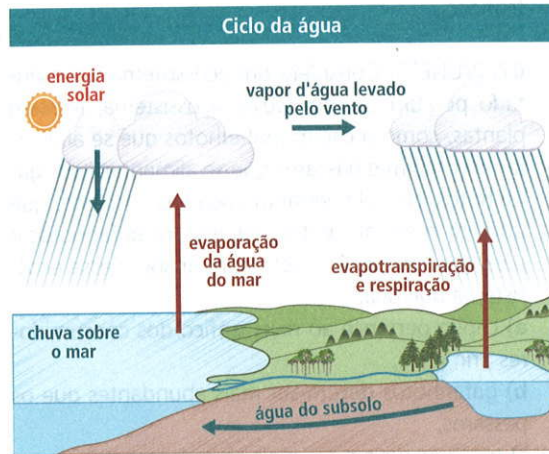
Na natureza, os átomos de elementos químicos essenciais à vida, como o carbono, o hidrogênio, o oxigênio e o nitrogênio, não são criados ou destruídos, nem transformados uns nos outros.

Esses elementos químicos são retirados do ambiente, utilizados pelos seres vivos e novamente devolvidos

ao ambiente, num processo que constitui os ciclos biogeoquímicos. Os ciclos biogeoquímicos mais importantes para os seres vivos são:

- Ciclo da água
- Ciclo do oxigênio
- Ciclo do carbono
- Ciclo do nitrogênio

## Ciclo da água



A água é o componente mais abundante da matéria viva. Na natureza, é encontrada em três estados físicos: líquido, sólido e gasoso. A superfície do nosso planeta é recoberta por cerca de 2/3 de água. A maior parte desta água, aproximadamente 98%, está sob a forma líquida, formando os mares, rios e lagos. De toda essa água, cerca de 97% pertencem ao **talassociclo**, isto é, ao conjunto que abrange todos os ecossistemas marinhos, e apenas uma pequena parte pertence ao **limnociclo**, isto é, ao conjunto de todos os ecossistemas dulcícolas.

A água dos mares, rios, lagos e solos evapora-se continuamente. O vapor vai para a atmosfera onde se condensa, formando numerosas gotículas de água líquida, dando origem assim às nuvens.

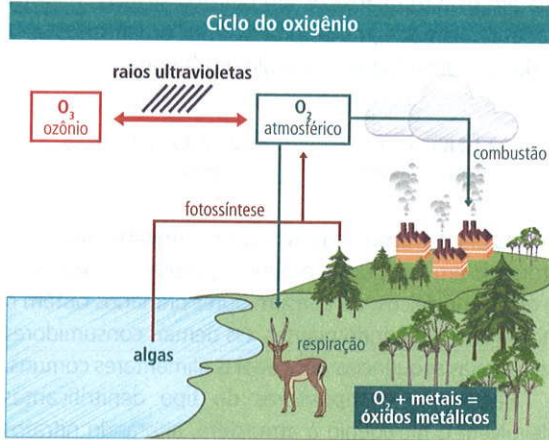
Essa água volta para a superfície terrestre nas precipitações (chuva, neve ou granizo). Este ciclo da água, que ocorre entre hidrosfera, solo e atmosfera, independe dos seres vivos.

A água pode também percorrer um ciclo mais longo, passando por organismos vivos. As plantas irão absorvê-la, seja pela parede de seus corpos (algas) ou mais comumente por suas raízes. Os animais podem ingeri-la, misturada aos diversos alimentos ou simplesmente bebê-la. Por esses processos, a água entra nos organismos e irá participar de diversas reações metabólicas.



Os seres vivos irão eliminá-la de várias formas (transpiração, excreção, respiração ou morte), assim retornando ao seu ciclo natural.

## Ciclo do oxigênio



Além de participar da composição da água, do gás carbônico e dos compostos orgânicos, o oxigênio é encontrado livre na atmosfera, sob a fórmula O<sub>2</sub>, sendo indispensável à respiração aeróbica dos seres vivos. Essa forma de oxigênio é liberada por organismos autótrofos fotossintetizantes por meio da fotossíntese.

Na forma livre, o oxigênio é o segundo componente mais abundante da atmosfera, ocupando 21% de sua composição.

O O<sub>2</sub> passa do meio abiótico (ar e água) para os seres vivos durante os processos respiratórios. Sua volta

ao meio abiótico acontece por meio da fotossíntese. A maior parte do oxigênio atmosférico provém da fotossíntese realizada pelo fitoplâncton.

Uma parte do oxigênio da atmosfera é transformada em gás ozônio (O<sub>3</sub>) pelos raios ultravioletas do Sol. Esse gás, que forma a **camada de ozônio** na atmosfera, atua como um filtro protetor, retendo cerca de 80% de toda radiação ultravioleta que, em excesso, apresenta ação mutagênica sobre os seres vivos.

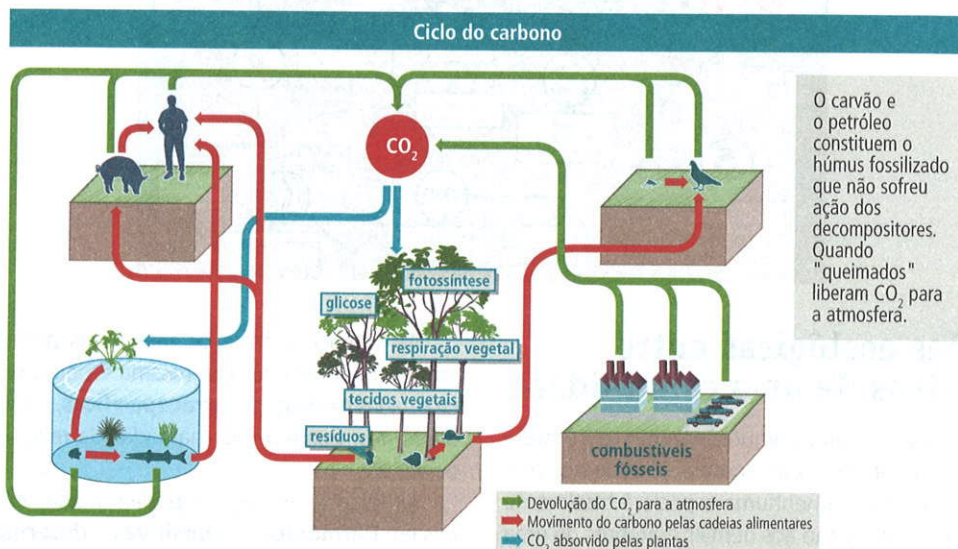
## Ciclo do carbono

O carbono é um elemento importante que participa da formação de todos os compostos orgânicos que compõem os seres vivos. Sua passagem do meio abiótico para o meio biótico se dá por meio dos produtores que absorvem o CO<sub>2</sub> para realizar a fotossíntese.

Por meio da fotossíntese, o CO<sub>2</sub> é fixado e transformado em matéria orgânica pelos produtores. Já os consumidores somente adquirem carbono através da nutrição. Tanto produtores quanto consumidores perdem carbono da mesma forma: através da respiração (na forma de CO<sub>2</sub>) ou da cadeia alimentar ou, ainda, ao fornecerem materiais que farão parte da constituição do húmus, pela morte do organismo ou de parte dele, e pela eliminação de excreções ou resíduos digestivos.

Os decompositores atuam sobre os detritos orgânicos, liberando CO<sub>2</sub>, que retorna à atmosfera, reintegrando-se ao seu reservatório natural.

Os combustíveis (lenha, carvão, petróleo e derivados) também liberam CO<sub>2</sub> quando são queimados.



## Ciclo do nitrogênio

Observando a composição química da atmosfera, percebemos que o nitrogênio é bastante abundante, em torno de 78%. Notamos essa grande quantidade de uma melhor forma quando a comparamos com a do oxigênio, 21% aproximadamente. Mas, mesmo nesta tamanha quantidade, poucos são os organismos capazes de absorvê-lo. Os que conseguem fazê-lo são denominados fixadores de nitrogênio, dentre estes, temos alguns tipos de bactérias (*Rhizobium*, *Clostridium*, *Azobacter*, etc.) e as cianobactérias (algas azuis). Estes seres captam o nitrogênio atmosférico (N<sub>2</sub>) e utilizam-no na síntese de moléculas orgânicas.

Quando os fixadores de nitrogênio morrem, liberam para o solo ou para a água o átomo de nitrogênio agora combinado, na forma de amônia (NH<sub>3</sub>).

Bactérias do gênero *Nitrosomonas* transformam a amônia em nitritos (HNO<sub>2</sub>). Com esta reação, estes micro-organismos obtêm a energia necessária para o seu metabolismo.



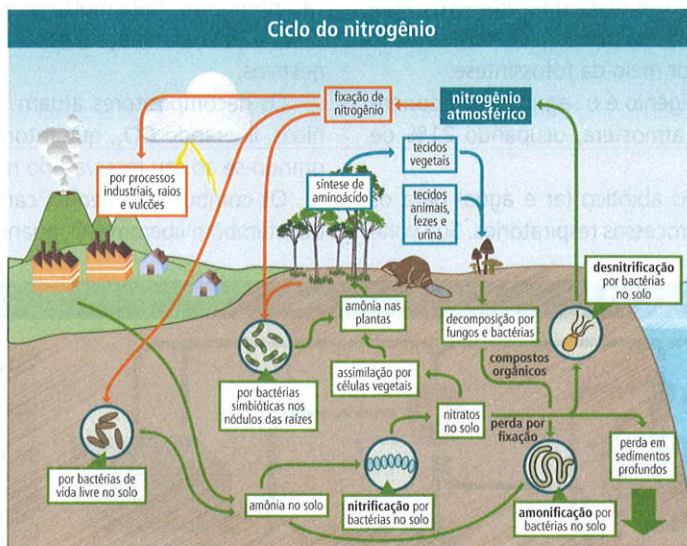
Os nitritos raramente são absorvidos pelas plantas, devido ao seu caráter tóxico. No entanto, um exame de solo mostrará sempre este composto em pequenas quantidades. O motivo está na capacidade de outras bactérias, geralmente do gênero *Nitrobacter*, transformarem os nitritos tóxicos em nitratos atóxicos para os vegetais. Também, nesse processo, os organismos bacterianos aproveitarão a energia resultante.



As plantas absorvem os nitratos e metabolizam o nitrogênio em compostos orgânicos, sobretudo proteínas e ácidos nucleicos. Os consumidores primários obtêm o nitrogênio, ingerindo plantas. Os demais consumidores seguem as sequências das cadeias alimentares comuns.

Bactérias decompositoras do tipo denitrificantes devolvem o nitrogênio à atmosfera, alterando nitratos em gás nitrogênio (N<sub>2</sub>).

As bactérias denitrificantes também usarão a energia resultante do processo.



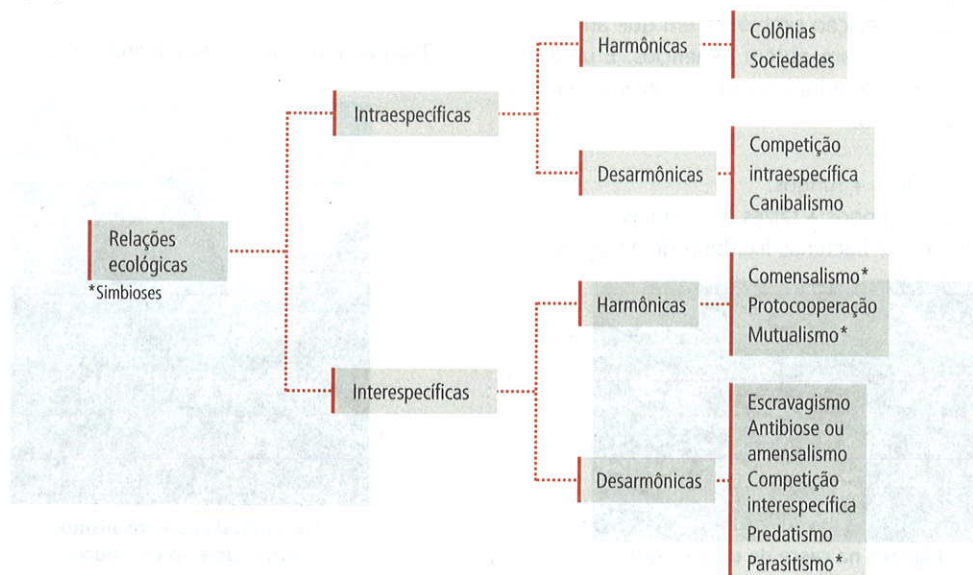
## Relações ecológicas entre seres vivos de uma comunidade

Os seres vivos de uma comunidade mantêm entre si um relacionamento bastante complexo. Podemos perceber que na natureza nenhuma espécie é totalmente independente em relação aos demais membros de uma comunidade.

As interações entre os seres vivos podem ocorrer entre organismos de uma mesma espécie, quando são chamadas de relações **intraespecíficas**, ou de espécies diferentes, quando são chamadas de relações interespecíficas.

As relações ecológicas podem ainda ser classificadas em **harmônicas** ou **positivas** e **desarmônicas** ou **negativas**. Nas relações harmônicas, um ou ambos os

associados se beneficiam, e não há prejuízo para nenhuma das partes. Nas desarmônicas, pelo menos uma das espécies é prejudicada.



## Relações intraespecíficas

Como já vimos, são relações entre indivíduos de uma mesma espécie. Podem ser: **harmônicas** ou **desarmônicas**.

### Relações intraespecíficas harmônicas

#### • Colônias

São agrupamentos de indivíduos da mesma espécie que se encontram ligados entre si, sendo-lhes impossível a vida isolada. As colônias podem ser classificadas em homomorfas ou heteromorfas.

#### Exemplo:



Colônia de *Physalia* (caravela). O toque da pele humana nos tentáculos dessa colônia provoca queimaduras dolorosas

#### • Sociedade

É a associação entre indivíduos da mesma espécie, organizados de forma cooperativa e não ligados anatomicamente.

### Exemplos:

Abelhas, formigas e cupins. As sociedades desses insetos se apresentam divididas em castas, em que cada grupo social é especializado no desempenho de uma determinada função.

#### Castas em sociedade de cupins



### Relações intraespecíficas desarmônicas

#### • Competição intraespecífica

Ocorre entre indivíduos da mesma espécie que concorrem pelos mesmos fatores do meio ambiente.

#### • Canibalismo

Ocorre quando um animal mata o outro da mesma espécie para alimentar-se.

### Relações interespecíficas

As relações entre organismos de diferentes espécies, tal como nas relações intraespecíficas, também podem ser **harmônicas** ou **positivas**, ou **desarmônicas** ou **negativas**.

## Relações interespecíficas harmônicas

### • Mutualismo

É um tipo de relação simbiótica em que ambas as espécies que interagem obtêm benefícios. É uma relação permanente e indispensável à sobrevivência dos indivíduos associados.

#### Exemplos:

Líquens = algas + fungos.

Micorrizas = fungos + raízes de vegetais.

Leguminosas + bactérias fixadoras de nitrogênio.



Líquens na casca de uma árvore

O termo simbiose, que antes era utilizado como sinônimo de mutualismo, hoje é empregado para organismos que vivem juntos em estreita associação, como nos casos de mutualismo, parasitismo e comensalismo.

### • Protocooperação

Associação entre indivíduos de espécies diferentes com capacidade de vida isolada, mas, quando estão em conjunto, encontram melhores condições de sobrevivência.

#### Exemplos:

Caranguejo paguro (bernardo-eremita) e actínias; pássaro-palito e crocodilo; anu e gado.



O crustáceo paguro, conhecido popularmente como caranguejo-eremita, vive no interior de conchas vazias de caramujos

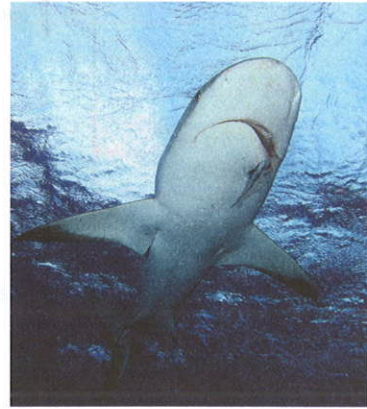
### • Comensalismo

Associação simbiótica na qual apenas uma espécie é beneficiada, sem prejuízo para a outra espécie associada.

No comensalismo, a associação ocorre em função da busca de restos alimentares.

#### Exemplos:

Tubarão e rêmora, leões e hienas, etc.



Exemplo de comensalismo entre tubarão e rêmora

### • Inquilinismo

É o tipo de comensalismo em que uma espécie usa a outra como abrigo.

#### Exemplos:

Orquídeas sobre árvores (epifitismo).

Pepino-do-mar e peixe agulha (fieraster).

## Relações interespecíficas desarmônicas

### • Competição interespecífica

Ocorre entre indivíduos que competem pelos mesmos recursos ambientais.

#### Exemplos:

Corujas, cobras e gaviões que se alimentam dos mesmos roedores.

### • Amensalismo ou antibiose

Consiste numa relação desarmônica em que organismos de uma população produzem substâncias que inibem ou impedem o desenvolvimento de organismos de populações de outras espécies. Esta propriedade foi aproveitada por Alexander Fleming em 1928, para desenvolver a penicilina.

#### Exemplo:

Fungo *Penicillium notatum* x certos tipos de bactérias.

### • Parasitismo

É a associação simbiótica em que um indivíduo vive às custas do outro, provocando prejuízos nestes, geralmente sem levar à morte. O parasitismo pode ser de dois tipos:

**Endoparasitismo:** *Taenia* sp x homem  
*A. lumbricoides* x homem

**Ectoparasitismo:** Carrapato x boi  
Piolho x homem

• **Predatismo**

Quando um animal mata outro de espécie diferente para se alimentar. Nos casos em que a espécie predada é um vegetal, costuma-se utilizar o termo herbivorismo.

**Exemplos:**

Leões x zebras.  
Onças x veados.

• **Esclavagismo ou sinfilia**

Indivíduos de uma espécie mantêm em cativeiro indivíduos de outra espécie, para obter vantagens.

**Exemplos:**

Formigas x pulgões; homem x vaca.

✓ **Testes**

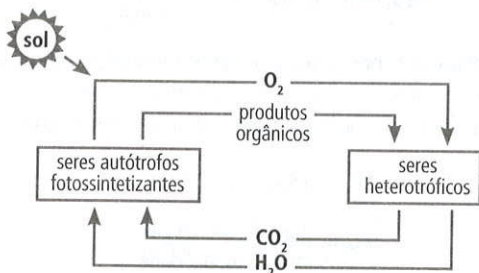
15. A formação da camada de ozônio, na atmosfera, está diretamente ligada ao ciclo do(a):

- a) cálcio;
- b) água;
- c) enxofre;
- d) oxigênio;
- e) nitrogênio.

16. (VUNESP) Um pesquisador, estudando uma plantação de soja numa área de 2 000 m<sup>2</sup>, verificou que essa plantação é capaz de retirar anualmente da atmosfera 5 toneladas de carbono. O carbono entra nos vegetais através da:

- a) respiração;
- b) fotossíntese;
- c) osmose;
- d) combustão;
- e) decomposição.

17. (CENTEC-BA) O esquema abaixo representa a reciclagem do dióxido de carbono e do oxigênio entre os organismos fotossintetizantes e heterótrofos da biosfera da Terra:



A análise do esquema permite concluir que:

- a) os organismos heterótrofos obtêm carbono do meio ambiente, na forma de moléculas orgânicas complexas, produzidas pelos autótrofos;
- b) os seres autótrofos utilizam o oxigênio livre para constituir suas biomoléculas, através da fotossíntese;
- c) moléculas de dióxido de carbono e água são incorporadas pelos autótrofos, pelo processo de respiração celular;
- d) os seres autótrofos estão subordinados à produção de alimentos pelos heterótrofos;
- e) a fotossíntese contribui para o aumento da concentração do dióxido de carbono na atmosfera.

18. (UFES) É preocupação dos ecólogos o fato de que as calotas polares podem vir a sofrer um processo de descongelamento, em virtude de um aquecimento da atmosfera terrestre. Esse aquecimento, consequência de um desequilíbrio ecológico, decorre de:

- a) depósitos de lixo atômico;
- b) aumento da taxa de monóxido de carbono na atmosfera;
- c) emanções de dióxido de enxofre para a atmosfera;
- d) redução da taxa de oxigênio na atmosfera;
- e) aumento da taxa de gás carbônico na atmosfera.

19. (USU-RJ) Nas raízes das leguminosas, encontramos, geralmente, nódulos formados pela ação de bactérias do gênero *Rhizobium*. Essa associação possibilita a:

- a) eliminação do N<sub>2</sub> do solo;
- b) decomposição de tecidos mortos;
- c) produção de CO<sub>2</sub> pela respiração;
- d) fixação de nitritos;
- e) fixação de N<sub>2</sub> atmosférico.

20. (FUVEST-SP) No ciclo do nitrogênio, os seres que devolvem N<sub>2</sub> à atmosfera são as bactérias:

- a) que transformam nitritos em nitratos;
- b) denitrificantes;
- c) que transformam nitratos em nitritos;
- d) que transformam resíduos orgânicos em amônia;
- e) decompositoras.

21. (UFRN) A caravela, cnidário formado por indivíduos anatomicamente unidos, entre os quais há uma divisão do trabalho, é um exemplo típico de:

- a) sociedade;
- b) colônia;
- c) predatismo;
- d) comensalismo;
- e) simbiose.

22. (UNESP) Em um cupinzeiro, podem ser encontrados cupins com diferentes formas: operários, soldados, machos alados e fêmeas aladas. Assinale a alternativa que melhor se relaciona com a existência dessas diferentes formas:

- a) Esses animais não vivem em sociedade.
- b) Esses animais disputam diferentes funções.
- c) Esses animais possuem divisão de trabalho.
- d) São necessários cuidados diferenciados com o alimento fungo.
- e) As diferentes funções levam à necessidade de diferentes formas.

23. (FATEC-SP) A relação ecológica existente entre certos fungos, que produzem substâncias antibióticas, e bactérias é classificada como:

- a) comensalismo;
- b) parasitismo;
- c) saprofitismo;
- d) amensalismo;
- e) predatismo.

24. (UNI-RIO) Em uma floresta, as aves arçarís e tuins disputam os troncos ocos das árvores, abertos pelos pica-paus para servir de abrigo para ninhos. O tipo de relação ecológica existente entre essas aves pode ser incluído no caso típico de:

- a) simbiose.
- b) comensalismo.
- c) cooperação interespecífica.
- d) competição intraespecífica.
- e) competição interespecífica.

25. (FUC-MT) Existe um pássaro que come os restos de alimentos que ficam retidos nos dentes do jacaré. Isto é um caso de:

- a) parasitismo;
- b) anabolismo;
- c) predatismo;
- d) esclavagismo;
- e) protocooperação.

26. (UNIFOR-CE) A concha de um mexilhão vivo serve apenas de suporte para uma colônia de *Obelia* (celenterado). Esses organismos mantêm uma relação comparável à existente entre:

- a) orquídeas e árvores;
- b) carrapatos e boi;
- c) pulgas e cachorro;
- d) cipó-chumbo e arbusto;
- e) erva-de-passarinho e cafeeiro.

## Dinâmica populacional

Como já foi visto anteriormente, população é um conjunto de indivíduos de uma mesma espécie que habitam uma região no mesmo intervalo de tempo, estabelecendo laços mais ou menos profundos com as demais populações ali instaladas.

Num ecossistema não encontraremos naturalmente populações isoladas. As diversas populações das comunidades irão se interagir, determinando aumento, estabilidade ou diminuição populacional. A esta alteração constante, denominamos **dinâmica populacional**.

Para avaliar o desenvolvimento de uma população, devem ser consideradas algumas características fundamentais que lhes são típicas, tais como: **densidade populacional** e **taxa de crescimento**.

### Densidade

É a relação que existe entre o número de indivíduos que compõem a população e o espaço ocupado por eles.

$$\text{Densidade} = \frac{\text{número de organismos}}{\text{área ou volume}}$$

### Taxa de crescimento

A taxa de crescimento demonstra se uma população está crescendo ou não e em que ritmo isso acontece. Fazem parte da taxa de crescimento, as taxas: de natalidade, de mortalidade, de imigração e de emigração.

#### • Taxa de natalidade

É a relação entre o número de nascimento em uma população em um determinado tempo.

$$\text{Taxa de natalidade} = \frac{\text{número de nascimentos}}{\text{tempo}}$$

#### • Taxa de mortalidade

É a relação entre o número de mortes em uma população em um determinado tempo.

$$\text{Taxa de mortalidade} = \frac{\text{número de mortes}}{\text{tempo}}$$

Para se saber o quanto cresce uma população, deve-se calcular seu índice de crescimento. Este é obtido dividindo-se a taxa de natalidade pela taxa de mortalidade.

$$\text{I.C.} = \text{Índice de Crescimento}$$

$$\text{I.C.} = \frac{\text{taxa de natalidade}}{\text{taxa de mortalidade}}$$

Outros fatores que também afetam o crescimento populacional são a **imigração** e a **emigração**, que indicam, respectivamente, a proporção de indivíduos que **entram** e **saem** da população.

### ! Importante saber

É importante que fatores como a natalidade e a imigração, e a mortalidade e a emigração sejam equivalentes para que uma população se mantenha equilibrada.

Seja:

$$\text{natalidade} + \text{imigração} > \text{mortalidade} + \text{emigração}$$

↓  
população em crescimento

$$\text{natalidade} + \text{imigração} < \text{mortalidade} + \text{emigração}$$

↓  
população em declínio

$$\text{natalidade} + \text{imigração} = \text{mortalidade} + \text{emigração}$$

↓  
população em equilíbrio

#### • Potencial biótico

Entende-se por **potencial biótico** a capacidade que uma população apresenta de, em condições ideais, crescer indefinidamente.

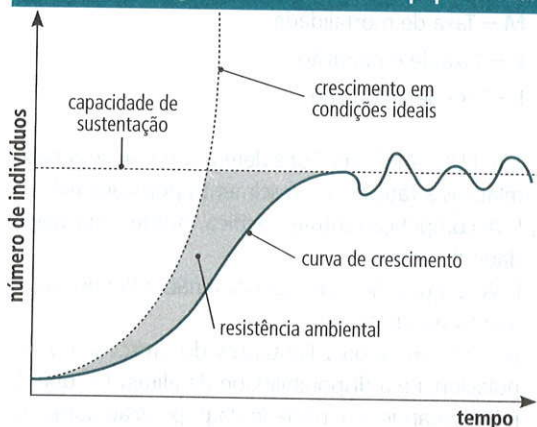
#### • Resistência ambiental

É o conjunto de fatores (bióticos e abióticos) que limita o crescimento populacional.

#### • Curva de crescimento populacional

A curva de crescimento populacional resulta da interação entre o potencial biótico e a resistência ambiental.

#### Representação gráfica do crescimento populacional



Na curva de crescimento de uma população representada anteriormente, o traçado revela, através de uma curva sigmoide (semelhante ao sigma, letra grega que corresponde ao nosso S), que a população cresceu até atingir a dimensão ideal e aí se tornou estável, com discretas flutuações.

### Fatores que regulam o crescimento populacional

Na natureza, observa-se geralmente que o número de indivíduos de uma determinada população mantém-se mais ou menos constante.

Esta constância numérica deve-se à ação de fatores limitantes que podem ser **abióticos** e **bióticos**.

Os fatores abióticos mais importantes são representados pelo espaço disponível e pelas condições climáticas. Entre os fatores bióticos, que interferem no crescimento de uma população, estão a **competição intraespecífica** e **interespecífica**, a **predação** e o **parasitismo**.

### Sucessão ecológica

É o processo pelo qual as comunidades se substituem numa sequência ordenada e gradual, até o estabelecimento de uma comunidade final, estável e em perfeito equilíbrio com o meio, denominada **comunidade clímax**.

Cada estágio da sucessão ecológica, até o estabelecimento de uma comunidade final, é denominado de **estágio seral** ou **série**.

De acordo com o seu estágio inicial, uma sucessão ecológica pode ser classificada em **primária** ou **secundária**.

#### Sucessão primária

Uma sucessão é primária quando ocorre em regiões nunca antes habitadas, como rochas nuas ou lavas solidificadas de vulcões ou dunas de areia recém-criadas. Estas superfícies podem ser colonizadas inicialmente por líquens, graças a sua capacidade de crescer grudado a rochas e a sua resistência a determinadas condições ambientais desfavoráveis. Com a morte e a decomposição dos líquens, aparece uma camada orgânica sobre a rocha, criando condições favoráveis ao desenvolvimento de organismos mais exigentes, como os musgos e as gramíneas, que continuam com o processo de desenvolvimento e melhoria do ambiente físico até serem substituídos por novas plantas e o estabelecimento de uma comunidade estável, denominada **comunidade clímax**.

De maneira resumida, podemos reconhecer então três fases distintas em uma sucessão ecológica primária:

• **Comunidade pioneira ou ecese**

É formada por organismos pouco exigentes em relação às condições ambientais, autótrofos e com boa capacidade de adaptação, como os líquens.

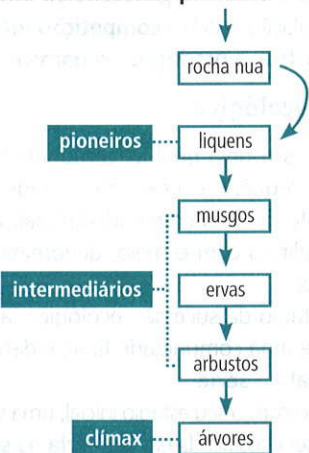
• **Comunidade intermediária**

Geralmente formada por musgos, gramíneas e arbustos.

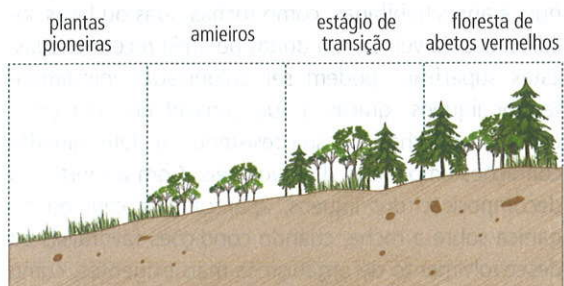
• **Comunidade clímax**

A comunidade clímax ou final ocorre quando o ecossistema atinge sua maturidade com um estágio de relativa estabilidade, compatível com as condições da região. O clímax pode ser uma caatinga, uma savana ou uma floresta tropical, ou outra comunidade compatível com o solo e o clima da região.

• **Esquema da sucessão primária**



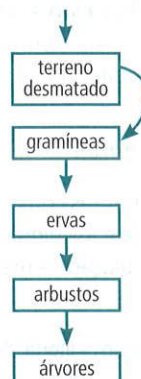
Sucessão primária em uma morena glacial



**Sucessões secundárias**

São sucessões que ocorrem em locais que já foram povoados e cujas comunidades foram eliminadas, como campos de cultura abandonados pelo homem, florestas derrubadas, áreas destruídas por queimadas (naturais ou povoadas) ou em lagos recém-formados.

• **Esquema das sucessões secundárias**



**Ecótono**

É uma região de transição entre dois ecossistemas vizinhos. O ecótono apresenta uma comunidade biótica com representantes dos dois ecossistemas considerados, e constitui uma área com uma diversidade de espécies relativamente alta.

**Testes**

27. (UNIFOR-CE) Na tabela abaixo, assinale a alternativa cujos dados refletem uma população em declínio.

|    | N  | M  | E  | I  |
|----|----|----|----|----|
| a) | 50 | 20 | 30 | 10 |
| b) | 40 | 10 | 15 | 5  |
| c) | 20 | 10 | 8  | 6  |
| d) | 15 | 12 | 7  | 5  |
| e) | 12 | 11 | 8  | 4  |

**Dados:**

N = Taxa de natalidade

M = Taxa de mortalidade

E = Taxa de emigração

I = Taxa de imigração

28. (PUCCAMP-SP) Considere as afirmações abaixo relativas a fatores de crescimento populacional.

I. A competição intraespecífica interfere na densidade da população.

II. A competição interespecífica não influi no crescimento populacional.

III. Um dos fatores limitantes do crescimento populacional é a disponibilidade de alimentos que diminui quando a densidade da população aumenta.



IV. Fatores climáticos influem no crescimento da população independentemente de sua densidade.

São verdadeiras apenas:

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

29. (FCC-SP) A curva abaixo representa o crescimento de uma população.



Com base neste gráfico, podemos afirmar que:

- a) essa população é constituída por organismos autótrofos;
- b) nessa população, natalidade e emigração predominam sobre mortalidade e imigração;
- c) nessa população, natalidade e imigração predominam sobre mortalidade e emigração;
- d) obrigatoriamente a população está sendo mantida em sistema fechado;
- e) essa população está em equilíbrio.

30. (PUCCAMP-SP) A capacidade de uma população em aumentar seu número de indivíduos em condições ambientais ideais é considerada:

- a) seu potencial biótico;
- b) sua densidade;
- c) sua taxa de crescimento;
- d) uma forma de competição intraespecífica;
- e) uma forma de competição interespecífica.

31. (PUCCAMP-SP) O número de pombos nas grandes cidades vem aumentando. Provavelmente, os principais motivos são:

- a) regularidade do clima e falta de ambiente natural para reprodução;
- b) ausência de inimigos naturais e regularidade do clima;
- c) fartura de alimentos e falta de ambiente natural para reprodução;
- d) fartura de alimentos e regularidade do clima;
- e) fartura de alimentos e ausência de inimigos naturais.

32. (UNIFOR-CE) Em uma população de 600 indivíduos, em determinado ano, nasceram 150, morreram 100, imigraram 25 e emigraram 75. Pode-se afirmar que, naquele ano, a população se manteve em:

- a) declínio lento;
- b) equilíbrio;
- c) crescimento lento;
- d) declínio acentuado;
- e) crescimento acentuado.

33. (UNIFOR-CE) "A ilha de Krakatoa foi destruída por uma erupção vulcânica e nenhum organismo sobreviveu. Após cinco anos, já existiam na ilha várias espécies de vegetais; após sete anos, muitos artrópodos. Até répteis, anfíbios e mamíferos já se encontravam na ilha quarenta anos após a erupção."

Esse relato exemplifica:

- a) A origem da vida na Terra.
- b) A evolução das espécies.
- c) Uma convergência adaptativa.
- d) Uma sucessão ecológica.
- e) Uma irradiação adaptativa.

34. (USU-RJ) Após uma tempestade, ocorreu um deslizamento, deixando a rocha exposta. Anos depois, verificou-se uma lenta e gradual ocupação do ambiente. Dentre as alternativas abaixo, indique os organismos que foram os primeiros a se instalarem:

- a) gramíneas;
- b) pteridófitas;
- c) briófitas;
- d) líquens;
- e) fungos.

35. (UNIFOR-CE) Dos organismos abaixo, os pioneiros da sucessão ecológica numa lagoa são os(as):

- a) paramécios;
- b) planárias;
- c) amebas;
- d) algas;
- e) fungos.

36. (CESCEM-SP) Uma comunidade em que as espécies se reproduzem e se mantêm, sem serem substituídas por outras espécies, é uma comunidade:

- a) Jovem.
- b) Clímax.
- c) Transitória.
- d) Instável.
- e) Sem dominância.

## Divisões da biosfera

A biosfera é o conjunto de todos os ecossistemas da Terra. A biosfera, comparativamente ao diâmetro do planeta, é bastante delgada, variando de 7 a 10 km acima do nível dos oceanos e até 11 km aproximadamente na fossa mais profunda (fossa de Mindanau, arquipélago Marianas, oceano Pacífico). Costuma-se dividir a biosfera em três biociclos: Epinociclo (biociclo das terras), Talassociclo (biociclo das águas salgadas) e Limnociclo (biociclo das águas doces).

### Epinociclo: biociclo das terras

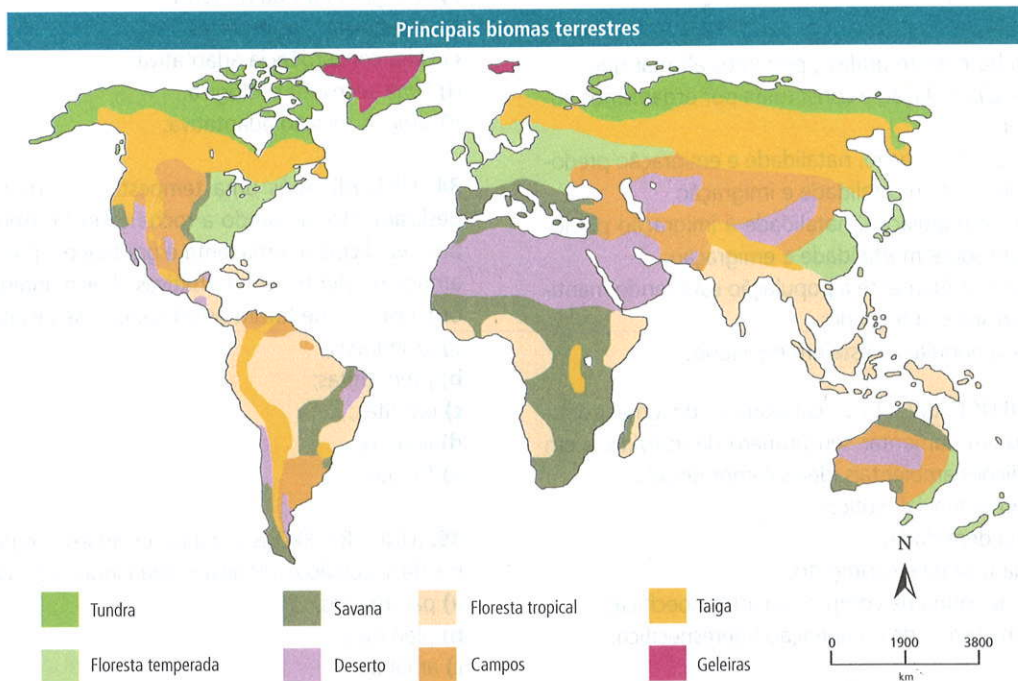
Um quarto da superfície do globo corresponde às terras, subdivididas em continentes e ilhas (continentais e oceânicas). Mesmo com pequena superfície comparativa, o epinociclo tem a maior variedade da fauna e

flora. A enorme diversidade do meio ambiente e as barreiras geográficas naturais são fatores importantes na formação de novas espécies.

O ambiente terrestre pode ser dividido em grandes ecossistemas que, através dos processos de sucessão ecológica, atingiram o estágio clímax. Esses ecossistemas são chamados de **biomas** e cada qual possui um clima e uma comunidade biótica semelhante em toda sua extensão.

A **latitude** e a **longitude** influenciam de forma decisiva no clima. Assim, os biomas vão se alterando dos polos ao Equador, e também da base para o pico das montanhas.

Os biomas terrestres são, geralmente, caracterizados e identificados pelo tipo de vegetação que apresentam. Os principais biomas são: **tundra, taiga, floresta temperada, floresta tropical, campos e desertos.**



#### • Tundra

Ocorre no hemisfério Norte, logo abaixo da zona de gelo permanente (calota polar).

Temperaturas bastante baixas, subsolo permanentemente congelado, solo descongela no verão (cerca de dois meses, com temperatura ao redor de 10°C).

**Fauna:** Animais herbívoros como a rena, o caribu, o boi almiscarado, os lemingues e as lebres árticas. Animais carnívoros como o lobo ártico, o urso polar, a raposa ártica e a coruja das neves. Ocorrem ainda aves migratórias e insetos.

**Flora:** Líquens, musgos, alguns arbustos e gramíneas.



Floresta de tundra

#### • Taiga

Também chamada de floresta de coníferas, situa-se ao norte do Alasca, sul da Groelândia, parte da Noruega, Suécia, Finlândia e Sibéria. Seu clima é frio, com invernos rigorosos, mas com estações quentes mais longas que as da região da tundra. Solos rasos e cobertos de espessa camada de folhas e ramos mortos em decomposição.

**Fauna:** Formada principalmente por alces, ursos pardos, lobos, martas, lincos, esquilos, raposas e aves migratórias.

**Flora:** Predominam as coníferas, como pinheiros e abetos. Ocorrem também plantas arbustivas e herbáceas, além de musgos e líquens.



Floresta de taiga

#### • Temperadas decíduas

São encontradas principalmente nos Estados Unidos, na Europa ocidental, na China, na Coreia e no Japão. São características de locais que apresentam as quatro estações bem definidas. As folhas de suas árvores caem durante o inverno.

**Fauna:** Bastante diversificada, ocorrendo desde mamíferos pequenos como esquilos, gambás e ratos silvestres, até mamíferos de porte maior como lobos, lincos e leões-da-montanha. Existem, ainda, pássaros, répteis, anfíbios e insetos.

**Flora:** Vegetação predominantemente arbórea, como carvalhos e bordos. Há também musgos, samambaias e arbustos.

#### • Floresta tropical

Ocorre ao norte e ao sul do Equador. Pode ser observada na bacia amazônica (floresta tropical pluvial amazônica), na Indochina e na bacia do rio Congo (África); o clima é tropical, ocorrendo alto índice pluviométrico. Temperaturas oscilam geralmente entre 21°C e 32°C.

**Fauna:** É muito rica, sendo constituída por inúmeras espécies de mamíferos, aves, répteis, anfíbios e artrópodos.

**Flora:** Vegetação abundante, com muitas árvores, epífitas e cipós.



Floresta tropical

#### • Campos

Ocorrem em praticamente todos os continentes, recebendo denominações diferentes: **pampas** (Rio Grande do Sul), **cerrados** (Goiás e Mato Grosso), **estepes** (Rússia), **pradarias** (Estados Unidos), **savanas** (África), etc. Apresentam pluviosidade geralmente baixa para o desenvolvimento de florestas e estão sujeitas a períodos de seca.

**Fauna:** Variável de acordo com a região, porém bastante diversificada.

**Flora:** A vegetação predominante é formada por gramíneas, podendo abrigar arbustos e árvores de pequeno porte.

#### • Desertos

O maior deserto do mundo é o **Saara**, que se estende da costa atlântica da África até a Arábia. Existem desertos ainda na Austrália, nos Estados Unidos, no Chile e no Tibet. Nos desertos, durante o dia, as temperaturas são altas e à noite, bastante baixas. Normalmente o solo é árido e as chuvas escassas.

**Fauna:** Formada basicamente por mamíferos de pequeno porte (ratos, raposas e coiotes), aves (corujas), répteis (lagartos e cobras) e insetos diversos.

**Flora:** A vegetação é pobre, esparsamente distribuída, formada basicamente por gramíneas e cactos.



Deserto do Atacama

## Formações fitogeográficas do Brasil

O Brasil, em função do seu tamanho, apresenta grande variedade de climas, temperaturas, solos e umidades. Em função desses fatores, podem-se distinguir vários tipos de formações vegetais. As mais importantes são: **floresta amazônica** (hiléa), **mata atlântica**, **campos cerrados**, **pampas**, **caatinga**, **mata dos cocais**, **pantanal** e os **manguezais**.



Disponível em: <www.ibge.gov.br> Adaptado. Acesso em: 15 jul. 2009.

### • Floresta amazônica

Também conhecida como **hiléa**, é uma floresta pluvial tropical. Ocorre nos estados do Acre, Amazonas, Pará, Rondônia, Tocantins, Amapá, Roraima e, ainda, parte do Mato Grosso e de Tocantins. Apresenta árvores de grande porte, muitas epífitas e trepadeiras. Entre os animais, são encontrados uma grande variedade de primatas, carnívoros, tamanduás, preguiças e insetos.

### • Mata atlântica

Também chamada de mata costeira. Estende-se ao longo de toda a costa brasileira, acompanhando a cadeia de montanhas ali existente. Vai do Rio Grande do Norte ao Rio Grande do Sul. É uma floresta pluvial tropical semelhante à floresta amazônica.



Mata atlântica

### • Mata das araucárias

A mata das araucárias ou mata dos pinhais se localiza no Sul do país, nos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Apresenta como espécie vegetal predominante o pinheiro-do-paraná (*Araucaria angustifolia*).

### • Campos cerrados

Estão localizados nos estados de Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e em algumas regiões de São Paulo e Paraná.

O cerrado é um tipo de savana, com vegetação arbórea esparsa, com pequenas árvores e muitos arbustos.

### • Pampas

Localizados na região Sul, no estado do Rio Grande do Sul. Caracterizam-se pela predominância de plantas herbáceas (gramíneas). Eventualmente são encontrados pequenos bosques de arbustos no interior dos pampas.



Pampas

### • Caatinga

As caatingas ocorrem no Nordeste do Brasil e ocupam 11% do território brasileiro. Estendem-se pelos estados do Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Sergipe, Alagoas e Bahia.

Apresenta clima tropical com seca acentuada, suas plantas representadas por árvores baixas e arbustos denotam adaptações à falta de água.

### • Mata dos cocais

Também denominados de babaçuais, estão localizadas nos estados do Maranhão, Piauí e Rio Grande do Norte, entre a Amazônia e a caatinga. Predomina uma vegetação composta principalmente por palmeiras, babaçu e carnaúba.

### • Pantanal

O pantanal mato-grossense localiza-se nos estados do Mato Grosso e do Mato Grosso do Sul. Não

apresenta uma flora característica, uma vez que nele encontram-se vegetais comuns a outras regiões como cerrado e mesmo a caatinga. Apresenta enorme diversidade de animais.



Pantanal mato-grossense

#### • Manguezais

Ocorrem próximo à costa, ao longo de todo o litoral brasileiro, desde o Amapá até Santa Catarina. Desenvolvem-se em estuários, locais onde os rios encontram-se com o mar. Sua flora possui adaptações para sobreviver em ambientes alagados. É representada principalmente pela *Rhizophora mangle* e pela *Avicennia*, que apresentam raízes do tipo escora ou tabulares e do tipo respiratória (pneumatóforos), respectivamente.

### Talassociclo

É o biociclo das águas salgadas. Cobre cerca de 70% do globo terrestre e é o maior dos ecossistemas. Apresenta um número de organismos bastante grande, apesar de ter bem menos espécies que o epinociclo, principalmente por apresentar uma maior uniformidade. Isto acarreta um número menor de nichos ecológicos.

#### Penetração de luz no talassociclo

Em função da penetração da luz nos oceanos, é possível distinguir três zonas no talassociclo:

##### • Zona eufótica

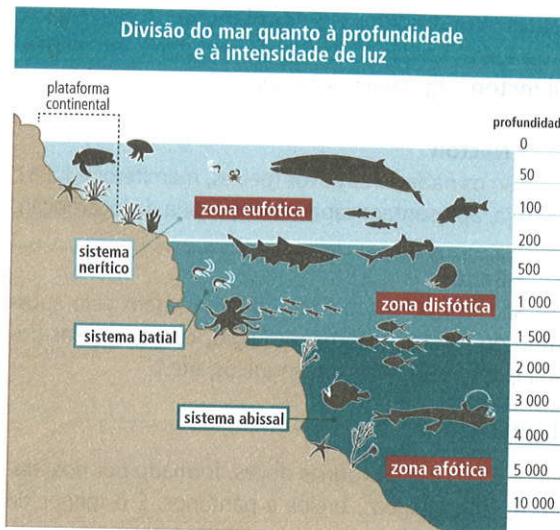
Localizada até cerca de 100 m de profundidade, é bem iluminada, rica em seres autótrofos e herbívoros.

##### • Zona disfótica

Entre 100 e 200 m, é fracamente iluminada, apresenta por esta razão poucos seres fotossintetizantes. Ocorrem seres necróvoros e carnívoros.

##### • Zona afótica

Não há penetração da luz nesta camada, que fica abaixo dos 200 m. Ocorrem carnívoros, necróvoros e decompositores.



### Zonas de profundidades

De acordo com a profundidade dos oceanos, pode-se distinguir as seguintes zonas no talassociclo: **entremarés, nerítica, batial, abissal e hadal**.

#### • Zona entremarés

Fica na região entre a maré alta e baixa. Os animais e os vegetais são adaptados à exposição solar (praias arenosas, lodosas e rochas litorâneas).

#### • Zona nerítica

Região do mar sobre a plataforma continental. Com profundidade de até 200 m, muito rica em plâncton, nécton e bentos.

#### • Zona batial (ou oceânica)

Fundo do mar além dos 200 m de profundidade até 2 000 m. Fauna pobre.

#### • Zona abissal

Corresponde às profundidades de 2 000 m a 5 000 m de profundidade. Fauna muito pobre.

#### • Zona hadal

De 5 000 m até 11 000 m, nas fendas oceânicas. Ocorrem poucos animais e bactérias.

### Organismos marinhos

Os organismos marinhos que vivem no talassociclo são classificados em três grupos de acordo com a capacidade de deslocamento. São eles: **plâncton, nécton e benton**.

#### • Plâncton

São organismos que vivem em suspensão nas águas. Alguns podem nadar, mas não superam as cor-

rentes. São divididos em **zooplâncton**: foraminíferos, crustáceos, cnidários, larvas de moluscos, etc. e **fitoplâncton**: algas microscópicas.

• **Nécton**

São os nadadores ativos (peixes, mamíferos e lulas), ou seja, apresentam capacidade própria de locomoção.

• **Benton**

São os que estão fixos ou se arrastam pelo substrato do fundo dos oceanos (algas, corais, estrelas-do-mar, siris, caramujos, caranguejos, etc.).

### Limnocielo

É o biociclo das águas doces, formado por rios, riachos, lagos, lagoas, brejos e pântanos. É o menor de todos os biociclos.

Subdivide-se em dois tipos de províncias: **lêntica** e **lótica**.

• **Província lêntica**

Tem águas calmas, pouca luminosidade e pouca oxigenação. É formada por lagos, lagoas e poças. Apresenta vegetais presos ao fundo, plâncton, invertebrados (insetos, caramujos e vermes) e vertebrados (peixes, anfíbios, etc.).

• **Província lótica**

Apresenta água corrente com grande oxigenação, fauna e flora pobres. É formada pelos rios e pelos riachos.

### Poluição ambiental

Poluição é qualquer modificação nociva ao meio ambiente, provocada pelo homem, e que seja prejudicial aos seres vivos em geral.

De acordo com o tipo de poluente e da parcela do ambiente mais afetada, pode-se considerar três tipos principais de poluição: do **ar**, da **água** e do **solo**.

#### Poluição do ar

| Categoria em suspensão  | Algumas informações a respeito   |
|-------------------------|--|
| Partículas em suspensão | Mistura de partículas sólidas e líquidas suspensas no ar, visualizadas como poeira ou fumaça. Podem conter qualquer um dos demais poluentes. Exemplos: Os diversos tipos de poeiras lançados pela indústria no ar, como o pó de cimento. |

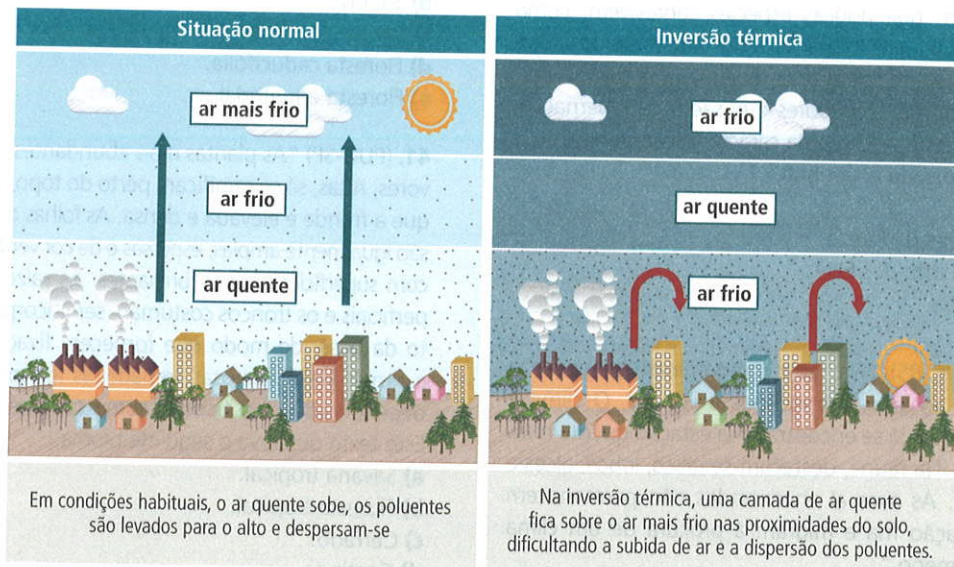
|   |   |
|---|---|
| Compostos orgânicos voláteis                        | Materiais como gasolina, solventes e soluções de limpeza que ficam no ar em estado de vapor.  |
| Dióxido de carbono, também chamado de gás carbônico | Subproduto normal das combustões e da respiração de animais e plantas; é matéria-prima para a fotossíntese. Sua taxa no ar está crescendo e é um dos maiores responsáveis pelo efeito estufa.   |
| Monóxido de carbono                                 | Gás invisível, inodoro, letal a partir de certa dosagem, que se combina com a hemoglobina de forma estável, prejudicando o transporte de O <sub>2</sub> . Perigoso na proporção de 10 ppm (parte por milhão). Favorece o aparecimento de anemias.   |
| Óxidos de nitrogênio e de enxofre                   | Convertidos, respectivamente, em ácido nítrico e ácido sulfúrico, ao se combinar com o vapor de água existente na atmosfera. Responsáveis pelas chuvas ácidas, como veremos mais adiante. Ambos os gases diminuem a capacidade de formação de anticorpos.   |
| Chumbo e outros metais pesados                      | O chumbo, em particular, é muito perigoso, mesmo em concentrações baixas; danifica células do cérebro, podendo levar à morte. Até alguns anos atrás, colocava-se na gasolina tetraetilato de chumbo, para controlar seu poder detonante. No entanto, os altos níveis de chumbo verificados no sangue das pessoas fez com que se abandonasse esse aditivo. O Brasil produz gasolina sem chumbo desde 1989. |
| Ozônio  | O ozônio (O <sub>3</sub> ), embora importantíssimo quando nas camadas superiores da atmosfera, por proteger contra os raios ultravioleta, é altamente tóxico para animais e vegetais. No nível do chão, portanto, é um forte poluente. Isso ilustra bem a ideia de que os poluentes são substâncias que estão "fora do lugar correto".  |
| Materiais tóxicos do ar                             | Eles incluem substâncias químicas causadoras de câncer, materiais radioativos e outras substâncias, como o benzeno, o cloreto de vinila e o amianto.  |

Outras formas importantes de poluição são a **inversão térmica** e as **chuvas ácidas**.

• **Inversão térmica**

Inversão térmica é um fenômeno atmosférico comum no inverno, em regiões com produção de po-

luentes industriais, em que se forma uma camada de ar quente a determinada altitude, denominada camada de inversão. Essa camada de ar quente impede a dispersão do ar frio das camadas inferiores, onde os poluentes são produzidos, agravando, dessa forma, os efeitos da poluição atmosférica.



#### • Chuva ácida

A queima de combustíveis fósseis de carvão e de madeira, produzem, além de  $\text{CO}_2$ , poluentes como o dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ) e os óxidos de nitrogênio, que podem combinar-se com a água na atmosfera e formar ácido sulfúrico e ácido nítrico, respectivamente. Durante uma chuva esses ácidos precipitam-se e misturados à água, constituem a chuva ácida. Essa chuva destrói monumentos, grades metálicas e carroceria de automóveis, além de provocar acidentes ecológicos como a queima de vegetação e a contaminação do solo e da água.

#### Poluição da água

Uma das principais formas de poluição das águas é a eutroficação, que consiste no enriquecimento de ecossistemas aquáticos por dejetos humanos que determinam a proliferação excessiva de micro-organismos (principalmente bactérias aeróbicas) com a consequente redução dos níveis de oxigênio molecular dissolvidos na água. Como consequência, a maioria das formas de vida morre, inclusive os próprios micro-organismos causadores do fenômeno.

A poluição das águas pode ainda ser provocada por resíduos industriais (detergentes, ácido sulfúrico e amônia) e por resíduos agrícolas (agrotóxicos).

#### Poluição do solo

A poluição do solo é causada principalmente por pro-

duto químicos (inseticidas, fungicidas e herbicidas) utilizados na agricultura no combate às pragas da lavoura.

Muitas destas substâncias, como os organoclorados (DDT e BHC), não são biodegradáveis e tendem a se acumular nos organismos ao longo da cadeia alimentar, causando sérios problemas aos seres vivos.

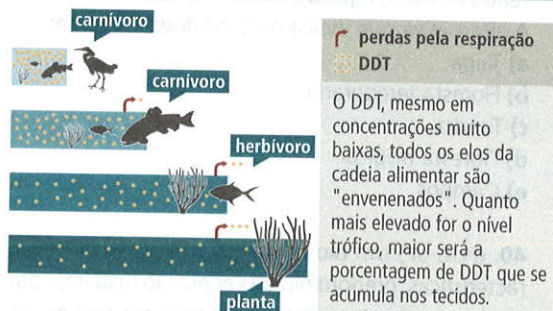
#### Outras formas de poluição

- Radioatividade
- Metais pesados
- Derramamento de petróleo
- Poluição sonora

#### Magnificação biológica

Compostos com efeito cumulativo são transmitidos ao longo da cadeia alimentar.

#### Concentração de DDT ao longo das cadeias alimentares



## Testes

**37.** (UFSCAR-SP) Bioma caracterizado pelo frio constante em que poucas espécies sobrevivem, como musgos, líquens e capins surgidos num rápido verão, onde chegam, de outras regiões, aves migratórias, renas, insetos e roedores que saem da hibernação. Temos neste trecho uma caracterização de:

- a) pampas da Argentina;
- b) taiga;
- c) estepes da Rússia;
- d) pradarias dos EUA;
- e) tundra.

**38.** (PUC-RS) "Na flora, predominam pinheiros e abetos ao lado dos musgos e líquens. O clima é frio, porém já se encontra uma estação quente mais amena. Na fauna, destacam-se ursos, lobos, alces e martas. As aves aí encontradas não permanecem na estação fria e migram à procura de um clima mais ameno."

O texto acima faz referência:

- a) à tundra;
- b) ao deserto;
- c) à taiga;
- d) à estepe;
- e) ao cerrado.

**39.** (OSEC-SP) Um determinado bioma terrestre está representado por uma série de características descritas a seguir: situa-se na Europa e América do Norte, nas regiões de clima temperado, onde as 4 estações do ano são bem caracterizadas. As árvores que aí vivem mostram poda natural no outono, voltando suas folhas na primavera. Essa poda facilita sua vida durante o período do inverno. Aí vivem musgos, ervas, arbustos, carvalhos, etc., ao lado de certos animais como insetos, muitas aves, esquilos, veados, javalis, raposas, doninhas, etc.

A alternativa que indica o nome desse bioma é:

- a) Taiga.
- b) Floresta temperada.
- c) Tundra.
- d) Floresta tropical.
- e) Campos.

**40.** (PUC-SP) Um bioma apresenta as seguintes características: predomínio de vegetação rasteira, com árvores e arbustos esparsos; mamíferos herbívoros

de grande porte e bons corredores; predadores também de grande porte. O nome desse bioma é:

- a) Savana.
- b) Tundra.
- c) Taiga.
- d) Floresta caducifólia.
- e) Floresta equatorial.

**41.** (PUC-SP) "As plantas mais abundantes são as árvores. Altas, só se ramificam perto do topo, de modo que a fronde é elevada e densa. As folhas das árvores são igualmente amplas, espessas e de cor verde-escura, com superfícies ventrais brilhantes. As raízes são superficiais e os troncos costumam ser encorpados perto da base, de modo que fornecem fixação ampla e firme. Há numerosas trepadeiras lenhosas, cipós dependurados das árvores, como cabos e epífitas." Este texto descreve o seguinte bioma:

- a) Savana tropical.
- b) Floresta tropical.
- c) Cerrado.
- d) Caatinga.
- e) Tundra.

**42.** (UNISINOS-RS) Viajando pelo sudoeste do Rio Grande do Sul, encontra-se uma vegetação herbácea, composta principalmente por gramíneas e muito utilizada como pastagens para criação de gado. Tal formação vegetal estende-se pelo Uruguai até o nordeste da Argentina.

A descrição refere-se à vegetação do(a):

- a) pantanal;
- b) caatinga;
- c) cerrado;
- d) pampa;
- e) mata das araucárias.

**43.** (ESAL-MG) "Vegetação com folhas normalmente largas, sempre verdes e ambiente úmido durante todo o ano. Grande quantidade de epífitas e trepadeiras. No solo, existe uma camada de serrapilheira que pouco a pouco se decompõe. Árvores, na sua maioria esguias e com ramos apenas na parte superior." Esta descrição se refere a qual tipo de vegetação?

- a) Cerrado.
- b) Caatinga.
- c) Mata atlântica.
- d) Pantanal.
- e) Mata das araucárias.



44. (UFRGS) Microcrustáceos e larvas de insetos e de peixes são exemplos de organismos que aparecem na(o):
- a) zona abissal;
  - b) fitoplâncton;
  - c) zona bentônica;
  - d) zooplâncton;
  - e) nécton.
45. (PUC-PR) O "efeito estufa", causado pelo acúmulo de gás carbônico,  $\text{CO}_2$ , na atmosfera, tem contribuído para um significativo aumento da temperatura média da Terra. Todas as alternativas apresentam processos que produzem gás carbônico, exceto a:
- a) fabricação da cal ( $\text{CaO}$ ) pelo calcinamento de carbono de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ );
  - b) fotossíntese realizada pelas plantas;
  - c) queima de combustível por um motor de automóvel;
  - d) queima de gás de um fogão;
  - e) queimada das florestas.
46. (FUVEST-SP) Um dos perigos da utilização de inseticidas clorados é que eles são muito estáveis e permanecem longo tempo nos ecossistemas. Em vista disto, dada a cadeia alimentar: capim  $\rightarrow$  inseto  $\rightarrow$  pássaro  $\rightarrow$  cobra  $\rightarrow$  gavião, é de se esperar que a maior concentração de DDT por quilo de organismos seja encontrada no(a):
- a) cobra;
  - b) gavião;
  - c) pássaro;
  - d) inseto;
  - e) capim.
47. (FUVEST-SP) A eutrofização marinha por nitratos e fosfatos tem provocado proliferação excessiva das populações de algas, fenômeno conhecido como "floração das águas". A alta mortalidade de peixes que acompanha esse fenômeno deve-se à(ao):
- a) acúmulo de nitratos e fosfatos ao longo da cadeia alimentar;
  - b) competição entre algas e peixes por espaço físico;
  - c) competição entre algas e peixes por alimento;
  - d) liberação excessiva de ureia pelas algas;
  - e) diminuição do oxigênio na água, causada pela decomposição das algas.



 **Gabarito**

|       |       |       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 01) A | 02) A | 03) E | 04) A | 05) A | 06) E |
| 07) B | 08) B | 09) D | 10) C | 11) D | 12) C |
| 13) A | 14) D | 15) D | 16) B | 17) A | 18) E |
| 19) E | 20) B | 21) B | 22) C | 23) D | 24) E |
| 25) E | 26) A | 27) E | 28) D | 29) C | 30) C |
| 31) E | 32) B | 33) D | 34) D | 35) D | 36) B |
| 37) B | 38) A | 39) B | 40) A | 41) B | 42) D |
| 43) C | 44) D | 45) B | 46) B | 47) E |       |

