

# ***Biologia***

## **Genética e Evolução**

Organizadores

**Paulo Takeo Sano**

**Lyria Mori**

Elaboradores

**Cristina Yumi Miyaki**

**Rodrigo Venturoso Mendes da Silveira**

# 2

## **módulo**

*Nome do Aluno* \_\_\_\_\_

**GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO**

Governador: *Geraldo Alckmin*

**Secretaria de Estado da Educação de São Paulo**

Secretário: *Gabriel Benedito Issac Chalita*

**Coordenadoria de Estudos e Normas Pedagógicas – CENP**

Coordenadora: *Sonia Maria Silva*

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**

Reitor: *Adolpho José Melfi*

**Pró-Reitora de Graduação**

*Sonia Teresinha de Sousa Penin*

**Pró-Reitor de Cultura e Extensão Universitária**

*Adilson Avansi Abreu*

**FUNDAÇÃO DE APOIO À FACULDADE DE EDUCAÇÃO – FAFE**

Presidente do Conselho Curador: *Selma Garrido Pimenta*

Diretoria Administrativa: *Anna Maria Pessoa de Carvalho*

Diretoria Financeira: *Sílvia Luzia Frateschi Trivelato*

**PROGRAMA PRÓ-UNIVERSITÁRIO**

Coordenadora Geral: *Eleny Mitrulis*

Vice-coordenadora Geral: *Sonia Maria Vanzella Castellar*

Coordenadora Pedagógica: *Helena Coharik Chamlian*

**Coordenadores de Área**

**Biologia:**

*Paulo Takeo Sano – Lyria Mori*

**Física:**

*Maurício Pietrocola – Nobuko Ueta*

**Geografia:**

*Sonia Maria Vanzella Castellar – Elvio Rodrigues Martins*

**História:**

*Kátia Maria Abud – Raquel Glezer*

**Língua Inglesa:**

*Anna Maria Carmagnani – Walkyria Monte Mór*

**Língua Portuguesa:**

*Maria Lúcia Victório de Oliveira Andrade – Neide Luzia de Rezende – Valdir Heitor Barzotto*

**Matemática:**

*Antônio Carlos Brolezzi – Elvia Mureb Sallum – Martha S. Monteiro*

**Química:**

*Maria Eunice Ribeiro Marcondes – Marcelo Giordan*

**Produção Editorial**

*Dreampix Comunicação*

Revisão, diagramação, capa e projeto gráfico: *André Jun Nishizawa, Eduardo Higa Sokei, Mariana Pimenta Coan, Mario Guimarães Mucida e Wagner Shimabukuro*





***Cartas ao  
Aluno***



Carta da

---

## *Pró-Reitoria de Graduação*

Caro aluno,

Com muita alegria, a Universidade de São Paulo, por meio de seus estudantes e de seus professores, participa dessa parceria com a Secretaria de Estado da Educação, oferecendo a você o que temos de melhor: conhecimento.

Conhecimento é a chave para o desenvolvimento das pessoas e das nações e freqüentar o ensino superior é a maneira mais efetiva de ampliar conhecimentos de forma sistemática e de se preparar para uma profissão.

Ingressar numa universidade de reconhecida qualidade e gratuita é o desejo de tantos jovens como você. Por isso, a USP, assim como outras universidades públicas, possui um vestibular tão concorrido. Para enfrentar tal concorrência, muitos alunos do ensino médio, inclusive os que estudam em escolas particulares de reconhecida qualidade, fazem cursinhos preparatórios, em geral de alto custo e inacessíveis à maioria dos alunos da escola pública.

O presente programa oferece a você a possibilidade de se preparar para enfrentar com melhores condições um vestibular, retomando aspectos fundamentais da programação do ensino médio. Espera-se, também, que essa revisão, orientada por objetivos educacionais, o auxilie a perceber com clareza o desenvolvimento pessoal que adquiriu ao longo da educação básica. Tomar posse da própria formação certamente lhe dará a segurança necessária para enfrentar qualquer situação de vida e de trabalho.

Enfrente com garra esse programa. Os próximos meses, até os exames em novembro, exigirão de sua parte muita disciplina e estudo diário. Os monitores e os professores da USP, em parceria com os professores de sua escola, estão se dedicando muito para ajudá-lo nessa travessia.

Em nome da comunidade USP, desejo-lhe, meu caro aluno, disposição e vigor para o presente desafio.

Sonia Teresinha de Sousa Penin.

Pró-Reitora de Graduação.



Carta da

---

## *Secretaria de Estado da Educação*

Caro aluno,

Com a efetiva expansão e a crescente melhoria do ensino médio estadual, os desafios vivenciados por todos os jovens matriculados nas escolas da rede estadual de ensino, no momento de ingressar nas universidades públicas, vêm se inserindo, ao longo dos anos, num contexto aparentemente contraditório.

Se de um lado nota-se um gradual aumento no percentual dos jovens aprovados nos exames vestibulares da Fuvest — o que, indubitavelmente, comprova a qualidade dos estudos públicos oferecidos —, de outro mostra quão desiguais têm sido as condições apresentadas pelos alunos ao concluírem a última etapa da educação básica.

Diante dessa realidade, e com o objetivo de assegurar a esses alunos o patamar de formação básica necessário ao restabelecimento da igualdade de direitos demandados pela continuidade de estudos em nível superior, a Secretaria de Estado da Educação assumiu, em 2004, o compromisso de abrir, no programa denominado Pró-Universitário, 5.000 vagas para alunos matriculados na terceira série do curso regular do ensino médio. É uma proposta de trabalho que busca ampliar e diversificar as oportunidades de aprendizagem de novos conhecimentos e conteúdos de modo a instrumentalizar o aluno para uma efetiva inserção no mundo acadêmico. Tal proposta pedagógica buscará contemplar as diferentes disciplinas do currículo do ensino médio mediante material didático especialmente construído para esse fim.

O Programa não só quer encorajar você, aluno da escola pública, a participar do exame seletivo de ingresso no ensino público superior, como espera se constituir em um efetivo canal interativo entre a escola de ensino médio e a universidade. Num processo de contribuições mútuas, rico e diversificado em subsídios, essa parceria poderá, no caso da estadual paulista, contribuir para o aperfeiçoamento de seu currículo, organização e formação de docentes.

Prof. Sonia Maria Silva

Coordenadora da Coordenadoria de Estudos e Normas Pedagógicas





# *Apresentação da área*

Antes de virar estas páginas, faça uma pausa...

Você se dá conta que, nesse exato momento, enquanto seus olhos percorrem cada letra deste texto, milhões de informações chegam até você pela retina? Pense nisso! Pense também que essas informações, para saírem do papel e alcançarem as células nervosas de seu cérebro, percorrem um caminho longo e fantástico! Caminho que pode começar muito antes do que a gente vê... Pode começar quando essa folha de papel era ainda uma árvore, que fazia parte de uma floresta, que por sua vez abrigava outras árvores e inúmeros animais... Você consegue enxergar tudo isso através dessas páginas? Sim? Não? Vamos ajudá-lo: é sobre essas coisas tão próximas de você que vamos falar aqui...

Você vai saber um pouco mais sobre a célula e seus componentes; sobre o funcionamento de cada uma e do organismo que elas compõem. Aprenderá a respeito de como os seres vivos se organizam e se distribuem nesse nosso planetinha azul. Vamos falar de plantas e de bichos, de vírus e bactérias, de fungos e do ser humano. Sim, do ser humano, de você inclusive! Como você funciona por dentro e por fora. Como suas ações podem ter resultados que vão muito além daqueles que se espera.

E já que falamos de resultados, esperamos que os seus, durante a vida, sejam os melhores! Estamos aqui para colaborar com isso... Porém, não se esqueça: depende muito mais de você! Nós, aqui, só vamos direcionar um pouco seu olhar para algumas coisas importantes, mas quem vai enxergar, de fato, é você! Portanto, não confie só no que está ao longo dessas páginas. Vá além! Leia muito! Jornais, revistas, coisas sobre ciências e sobre o mundo - afinal, ele é grande demais para caber em alguns fascículos! Não se esqueça que acumular conhecimento é o ganho mais efetivo que se pode ter: não se desgasta e ninguém nos tira!

Conte conosco durante essa tarefa. Pode estar certo: torcemos por você!



# *Apresentação do módulo*

*Seria ousado demais imaginar que ao longo de todo o tempo, desde que a Terra veio a existir, talvez milhões de eras antes do começo da história da humanidade, que todos os animais de sangue quente surgiram de um só filamento vivo [...] dotado da faculdade de se aperfeiçoar continuamente por sua própria atividade inerente, e de transferir esses aperfeiçoamentos por geração à sua posteridade, por todo o sempre!*

Erasmus Darwin,  
*Zoonomia*, 1794

*Minha letra é igual à do meu avô.*

Charles Darwin,  
*Rabisco no caderno M*, 1838

No presente módulo discutiremos alguns aspectos da Genética e da Evolução que fazem parte de nossas vidas. Esperamos que você enxergue a beleza dessas duas áreas ao longo desse nosso estudo. O material apresentado aqui está organizado de forma que você deve lê-lo criticamente durante a aula. Pare para pensar e procure discutir suas dúvidas com os colegas e com o monitor. Temos algumas atividades e várias perguntas e você deve trabalhar buscando sempre raciocinar sobre o problema proposto. Além disso, o monitor proporá algumas Questões de Execução (QE) que devem ser discutidas em pequenos grupos de alunos e com ele próprio, monitor. Esperamos muito que você termine o módulo se sentindo satisfeito com sua aprendizagem. Bons estudos!



# Unidade 1

# Genética clássica

Provavelmente você já ouviu alguém dizer: “*Fulano tem os olhos da mãe e o nariz do pai*”. Você já parou para pensar que isso tem tudo a ver com os experimentos de cruzamento de plantas de ervilha realizados pelo monge Gregor Mendel em 1866? Pois é, existe sim uma relação. Além disso, você já parou para pensar por que irmãos que têm a mesma mãe e o mesmo pai podem ser tão diferentes? Isso também está relacionado às Leis de Hereditariedade que Mendel propôs. Por isso, vamos iniciar nossos estudos de Genética desvendando juntos essas leis tão elegantes!

Você sabe qual foi a motivação de Mendel para iniciar seus experimentos? Ele estava interessado nas discussões sobre evolução biológica e percebeu que seria fundamental conhecer os fundamentos da herança biológica para compreender a evolução. Na Unidade 3 deste módulo veremos mais sobre isso.

Em seus experimentos, Mendel utilizou ervilhas como modelo experimental, pois elas são fáceis de cultivar, têm ciclo de vida relativamente curto, possuem variedades com características contrastantes, os descendentes de cruzamentos entre as suas variedades são férteis, reproduzem-se por autofecundação, mas também pode ser feita fertilização cruzada.

Mendel selecionou algumas variedades de plantas de ervilha que diferiam quanto a sete características, cada uma com dois estados contrastantes (veja a Tabela 1).

**QE 1:** Por que você acha que essas características seriam importantes nos experimentos de Mendel?

**Tabela 1** – Variedades de ervilhas utilizadas por Mendel.

|          |   | Características  |   |   |  |   |  |
|----------|---|--|---|---|--|---|--|
|          | TEXTURA DA SEMENTE  | COR DA SEMENTE   | REVESTIMENTO DA SEMENTE   | TEXTURA DA VAGEM  | COR DA VAGEM   | POSIÇÃO DA FLOR   | COMPRIMENTO DO CAULE   |
| Estados* | <br>Lisa   | <br>Amarela | <br>Colorido | <br>Inflada  | <br>Verde   | <br>Axilar | <br>Longo |
|          | <br>Rugosa | <br>Verde   | <br>Branco   | <br>Enrugada | <br>Amarela | <br>Apical | <br>Curto |

\*Atualmente, denominamos os estados das características de fenótipos.

## Organizadores

Paulo Takeo Sano

Lyria Mori

## Elaboradores

Cristina Yumi Miyaki

Ricardo Venturoso

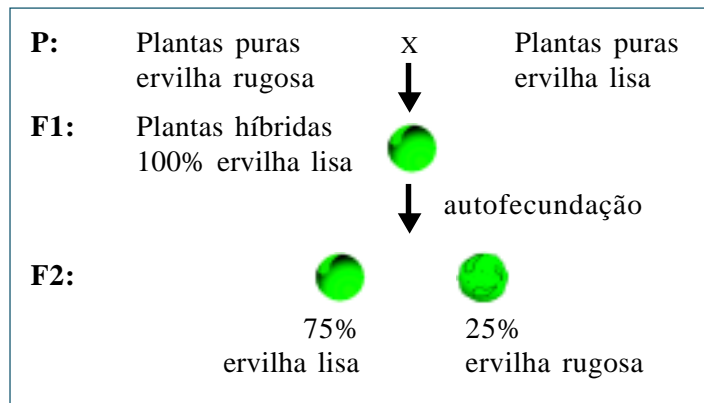
Mendes da Silveira

**QE 2:** Analisando a Tabela 1, você entendeu a diferença entre o que seriam as características e seus estados? Explique a diferença.

**QE 3:** Como essas características e seus estados se relacionam ao termo **fenótipo** (que Mendel não usou, mas que utilizamos hoje)?

Mendel cultivou exemplares de cada uma dessas variedades e verificou que muitas mantinham suas características invariáveis de uma geração para a outra. Por exemplo, plantas que produziam sementes verdes sempre originavam descendentes produtores de sementes verdes. O monge chamou essas plantas, cujas características não variavam ao longo das gerações, de **plantas puras**. Linhagens de plantas puras (parentais ou **P**) com estados contrastantes de uma determinada característica foram cruzadas por Mendel produzindo **plantas híbridas** (da primeira geração ou **F<sub>1</sub>**). Veja o esquema de um desses cruzamentos na Figura 1.

**Figura 1** – Esquema de um dos cruzamentos realizados por Mendel.



**QE 4:** Você acha que os termos **plantas puras** e **plantas híbridas** usados por Mendel têm alguma relação com os termos atuais **indivíduos homocigóticos** e **indivíduos heterocigóticos**? Justifique sua resposta.

Para verificar como cada um desses estados era herdado na descendência (**F<sub>1</sub>**), Mendel fez esses cruzamentos entre plantas puras com dois estados contrastantes de uma mesma característica.

**QE 5:** No esquema da Figura 1, poderia estar representado o cruzamento entre plantas com estados contrastantes de qualquer uma das características descritas na Tabela 1. Monte os outros seis esquemas de cruzamentos no seu caderno.

**QE 6:** Observe a Figura 1 novamente. A planta híbrida possui estado diferente ou intermediário aos estados de seus dois parentais? Como você explica tal resultado?

Observe novamente a Figura 1. As plantas **F<sub>1</sub>** foram autofecundadas e geraram as plantas da segunda geração ou **F<sub>2</sub>**. Você percebeu que o estado “rugoso” da característica “textura da semente”, que havia desaparecido em **F<sub>1</sub>**, reapareceu em **F<sub>2</sub>**? Você sabe como Mendel descreveu isso?



Ele assumiu que o estado de uma característica que ocorre no híbrido ( $F_1$ ) deveria ser denominado **dominante**, e o estado que está latente no híbrido seria designado **recessivo**. Esse estado recessivo estaria retraído ou ausente no híbrido, mas reaparecia sem mudanças na descendência do híbrido ( $F_2$ ).

Mendel contou o número de indivíduos com cada estado da característica em  $F_2$ . Por exemplo, o resultado do cruzamento esquematizado na Figura 2 foi de 5.474 sementes lisas e 1.850 rugosas. Se dividirmos 5.474 por 1.850, teremos 2,96; ou seja, uma proporção de 2,96 ervilhas lisas para cada 1 ervilha rugosa obtida. Essa proporção, muito próxima de 3:1 entre o estado dominante e o recessivo, foi encontrada para todas as características listadas na Tabela 1. Interessante, né? Mendel então buscou uma explicação para esclarecer a origem dessa proporção.

Para Mendel, as plantas possuíam entidades denominadas “**fatores**” (hoje conhecidas como “**genes**”) que determinavam as características hereditárias e eram transmitidas de uma geração para outra por meio dos gametas. Mendel representou esses fatores hipotéticos por letras, sendo a forma maiúscula para o fator determinante do estado dominante e minúscula o do estado recessivo.

**QE 7:** Seguindo o raciocínio de Mendel, uma planta de ervilha necessariamente possui dois fatores para cada característica. Como você justifica isso?

**QE 8:** Como o termo **fator** se relaciona com o termo **genótipo**?

Além disso, Mendel concluiu que os fatores para os dois estados de uma característica não se misturavam no híbrido, pois na descendência do híbrido aparecia um estado ou outro em cada indivíduo, e nunca estados intermediários. Finalmente, Mendel postulou que os dois tipos de fatores presentes no indivíduo deveriam se separar (**segregar**) na formação dos gametas. Assim, cada gameta teria apenas um fator. Hoje sabemos que essa formação de gametas se dá por **meiose**. Vamos fazer a atividade a seguir para compreender isso melhor.

#### ATIVIDADE 1

##### Meiose e segregação de genes

Faça grupo com 4-5 colegas.

- 1) Faça 4 rolinhos de papel de 5 cm de comprimento para representar cromossomos. Pinte os centrômeros, representando cromossomos metacêntricos. Escreva *A* em 2 rolinhos e *a* em outros 2 rolinhos.
- 2) Desenhe no seu caderno um círculo para representar o limite de uma célula e coloque um cromossomo com *A* e o seu homólogo com *a*.
- 3) Antes de iniciar a meiose os cromossomos são duplicados. Como você representaria essa duplicação usando os rolinhos prontos? O resultado dessa duplicação é uma figura na qual os cromossomos (cromátides-irmãs) estão unidos pelo centrômero. Você pode representar isso unindo os rolinhos de papel com fita adesiva.
- 4) A meiose constitui-se de duas divisões celulares. No final da primeira divisão, os cromossomos homólogos são separados em 2 células diferentes. Represente esse resultado no seu caderno. Ao final da segunda divisão, as cromátides-irmãs são separadas e resultam em 4 gametas. Represente esse resultado no seu caderno.
- 5) Faça agora 4 rolinhos de 3 cm. Pinte os centrômeros representando cromossomos acrocêntricos e escreva *B* em 2 rolinhos e *b* nos outros 2.

**ATIVIDADE 1 (CONT.)**

6) Represente agora uma célula duplo-híbrida. Quantos cromossomos você deve colocar dentro da célula? Correto, 2 pares de cromossomos homólogos contendo alelos diferentes em cada par.

7) Repita os passos 3 e 4.

**QE 9:** Escreva na Figura 1 como Mendel representaria os fatores existentes em cada um dos tipos de ervilha esquematizada. Faça a mesma coisa para os outros seis esquemas que você montou para as outras características da Tabela 1. Verifique se a maneira como você representou os fatores obedece todas as observações feitas por Mendel.

**QE 10:** Faça o planejamento de um experimento de cruzamento para verificar se a composição de fatores que você propôs para o híbrido  $F_1$  da Figura 1 está correta.

**QE 11:** Liste os pontos mais importantes que Mendel levantou para explicar o padrão de herança das características que ele analisou. Tudo ficou claro?

Mendel também estudou a herança simultânea de duas ou mais características, cada uma delas com estados contrastantes. Em um dos experimentos foram cruzadas plantas puras que produziam sementes lisas e amarelas com plantas puras que produziam sementes rugosas e verdes. Ou seja, essas plantas eram duplo-homozigóticas. Os resultados obtidos se encontram na Tabela 2. Observe que os valores das razões são próximos de 9:3:3:1.

**Tabela 2** – Resultados obtidos por Mendel no cruzamento entre plantas duplo-homozigóticas.

| cruzamento entre plantas puras            | características de $F_1$ | autofecundação de $F_1$                   | características de $F_2$  | razão entre os tipos de $F_2$ |
|---|--------------------------|---|---|-------------------------------|
| lisas e amarelas<br>X<br>rugosas e verdes | lisas e amarelas         | lisas e amarelas<br>X<br>lisas e amarelas | 315 lisas e amarelas<br>108 lisas e verdes<br>101 rugosas e amarelas<br>32 rugosas e verdes | 9,84<br>3,37<br>3,15<br>1     |

Calcule as proporções entre os estados de cada característica das sementes descritas na Tabela 2 (lisas:rugosas e amarelas:verdes).

Esse cálculo está esquematizado na Tabela 3. A característica “cor da semente” influencia na característica “textura da semente”? Analisando as Tabelas 2 e 3 vemos que não há interferência. As duas características foram herdadas independentemente.

**Tabela 3** – Resultados da análise independente de cada característica em  $F_2$  do cruzamento descrito na Tabela 2.

| características    | plantas $F_2$                                     | razão entre os tipos de $F_2$ |
|--------------------|---|-------------------------------|
| textura da semente | 315 + 108 = 423 lisas<br>101 + 32 = 133 rugosas   | 3,18 lisas: 1 rugosa          |
| cor da semente     | 315 + 101 = 416 amarelas<br>108 + 32 = 140 verdes | 2,97 amarelas: 1 verde        |

**QE 12:** Você sabe explicar por que os valores das razões obtidas nas Tabelas 1, 2 e 3 não são os valores exatamente idênticos aos esperados 3:1, 9:3:3:1 e 3:1, respectivamente?

Como Mendel explicou os resultados mostrados na Tabela 3? Ele sugeriu que os fatores para essas características se segregavam independentemente na formação dos gametas. Ou seja, cada gameta produzido pelo híbrido receberia  $A$  ou  $a$  da textura da semente e  $B$  ou  $b$  da sua cor. Além disso, a combinação dos fatores para as duas características se dava ao acaso. Assim, em uma planta dihíbrida (híbrida para duas características), um gameta que recebeu o fator  $A$  pode receber tanto o  $B$  quanto o  $b$ , do mesmo modo que um gameta que recebeu o fator  $a$  pode receber tanto o  $B$  quanto o  $b$ .

**QE 13:** Volte à Tabela 2 e escreva em seu caderno quais são os genótipos das plantas puras (P) e das plantas híbridas ( $F_1$ ). Fácil, né? E as plantas de  $F_2$ , você consegue determinar seus genótipos e quantas plantas possuem cada um desses genótipos? Em seguida, responda a questão da Fuvest a seguir.

#### QUESTÃO DE VESTIBULAR

**1. (Fuvest)** O cruzamento entre duas linhagens de ervilhas, uma com sementes amarelas e lisas ( $VvRr$ ) e outra com sementes amarelas e rugosas ( $Vvrr$ ), originou 800 indivíduos. Quantos indivíduos devem ser esperados para cada um dos fenótipos indicados na tabela?

|    | Amarelas/<br>lisas | Amarelas/<br>rugosas | Verdes/<br>lisas | Verdes/<br>rugosas |
|----|--------------------|----------------------|------------------|--------------------|
| a) | 80                 | 320                  | 320              | 80                 |
| b) | 100                | 100                  | 300              | 300                |
| c) | 200                | 200                  | 200              | 200                |
| d) | 300                | 300                  | 100              | 100                |
| e) | 450                | 150                  | 150              | 50                 |

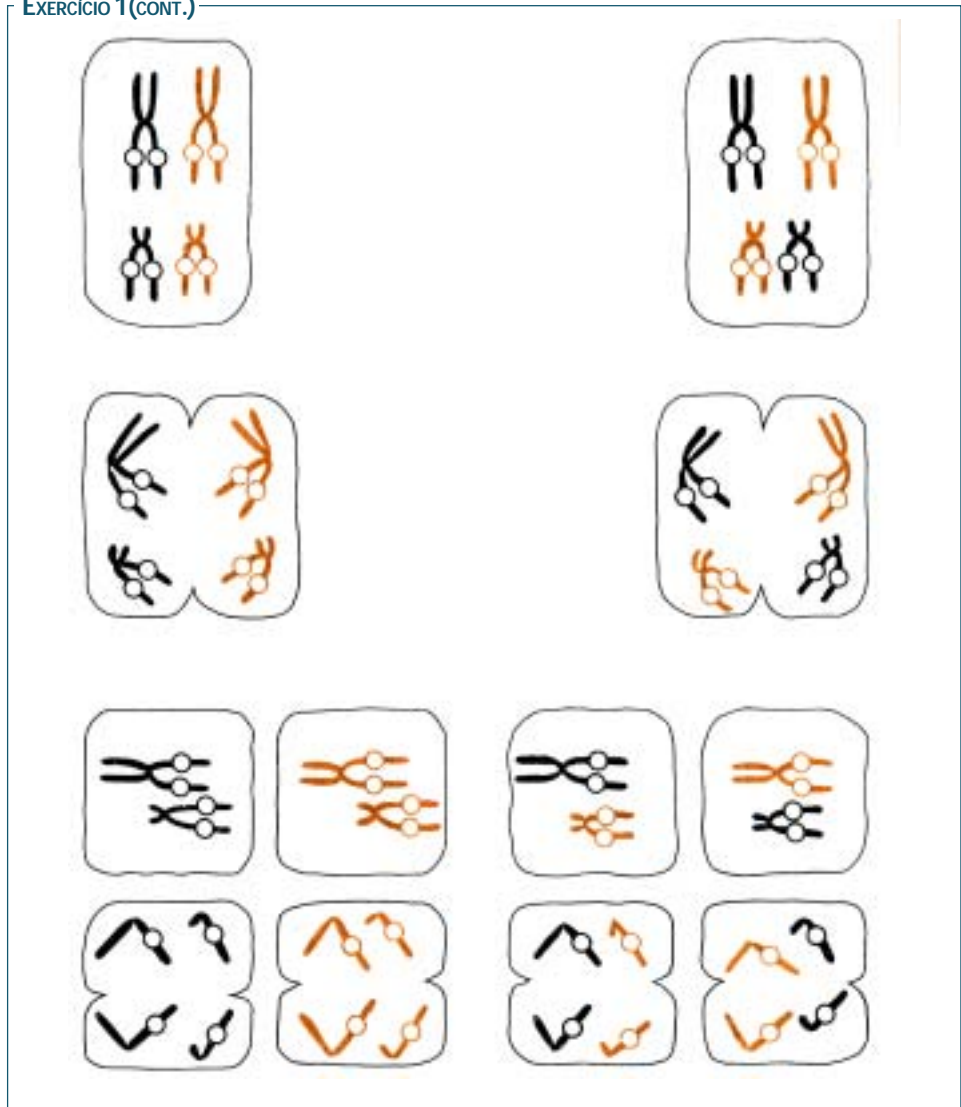
Você percebeu que todas as condições que Mendel hipotetizou para explicar a herança de uma característica também foram adotadas para a herança de duas características? Em adição, no caso de fatores de duas **características**, eles são herdados de modo **independente**.

#### EXERCÍCIO 1

Vamos reforçar o que acabamos de discutir na Atividade 1. No esquema da página seguinte estão representadas algumas etapas da meiose de duas células de um indivíduo de genótipo  $AaBb$ . Preencha os círculos indicados com as letras  $A$ ,  $a$ ,  $B$  e  $b$  nos 2 tipos possíveis de segregação desses 2 pares de genes.



EXERCÍCIO 1 (CONT.)



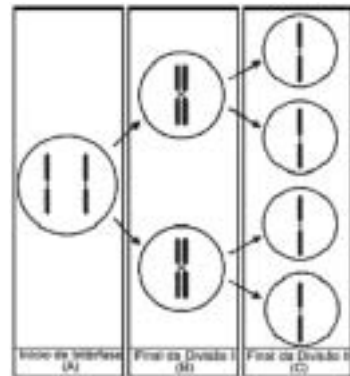
Fonte: Amabis e Martho, A ciência da Biologia. São Paulo, ed. Moderna, 1983

QUESTÃO DE VESTIBULAR

2. (Fuvest) A figura mostra etapas da segregação de um par de cromossomos homólogos em uma meiose em que não ocorreu permuta.

No início da intérfase, antes da duplicação cromossômica que precede a meiose, um dos representantes de um par de alelos mutou por perda de uma seqüência de pares de nucleotídeos. Considerando as células que se formam no final da primeira divisão (B) e no final da segunda divisão (C), encontraremos o alelo mutante em

- a) uma célula em B e nas quatro em C.
- b) uma célula em B e em duas em C.
- c) duas células em B e em duas em C.
- d) duas células em B e em duas em C.
- e) duas células em B e nas quatro em C.



Concluindo a nossa discussão sobre os experimentos de Mendel, as sete características estudadas (Tabela 1) apresentam segregação independente entre elas. Você sabe quantos pares de cromossomos uma célula de planta de ervilha possui? São sete pares! Apesar de ainda hoje não sabermos a localização cromossômica de todas essas características, é possível que cada uma possa estar em um cromossomo diferente. Mendel foi ou não foi um grande cientista???

Mas ele também foi muito perspicaz na escolha das características; vamos ver por quê. Durante a meiose pode ocorrer permuta. O que é isso? Analise a Figura 2: nela está representado um par de cromossomos homólogos, ambos com as cromátides-irmãs duplicadas. As cromátides mais internas de cada par possuem segmentos de 2 cores, em contraste com as cromátides mais externas, que possuem apenas uma cor cada.

**Figura 2** – Representação de três permutações entre um par de cromossomos homólogos.



Fonte: Amabis e Martho, A ciência da Biologia. São Paulo, ed. Moderna, 1983

Como você interpreta a Figura 2? Houve troca de segmentos entre as cromátides internas, mas não nas cromátides externas. Assim, o resultado final será: 2 cromossomos com 1 única cor cada e 2 cromossomos com segmentos alternados contendo cores diferentes. A consequência interessante da permuta é que nos cromossomos nos quais ocorreu permuta, genes que estejam fisicamente muito próximos na mesma molécula de DNA (cromátide) vão geralmente permanecer juntos no mesmo segmento. Já os genes que estão mais longe entre si têm, ao acaso, mais chances de haverem sofrido recombinação. Vamos ver se você entendeu, respondendo a questão a seguir.

#### QUESTÃO DE VESTIBULAR

**3. (Fuvest)** Os genes X, Y e Z de um cromossomo têm as seguintes freqüências de recombinação:

| Freqüência de recombinação | Genes |
|----------------------------|-------|
| 15%                        | X e Y |
| 30%                        | Y e Z |
| 45%                        | Z e X |

Qual a posição relativa desses três genes no cromossomo?

- a) Z X Y
- b) X Y Z
- c) Y Z X
- d) X Z Y
- e) Y X Z

Qual o efeito da permuta? As cromátides sem mistura de cor representam os cromossomos da maneira como foram herdados da mãe e do pai; já nas cromátides que sofreram essa troca (permuta) surge uma nova combinação desses genes! Ou seja, a permuta, em adição à segregação dos alelos e à segregação independente dos cromossomos, gera uma grande variabilidade genética.

**QE 14:** Agora podemos voltar às observações iniciais dessa Unidade. Ficou claro para você por que filhos são parecidos com os pais e por que filhos de mesmos pais podem ser diferentes? Explique de uma forma resumida como isso se relaciona com as leis de hereditariedade propostas por Mendel.

Você deve ter percebido que, em Ciência, as hipóteses são formuladas a partir do uso das informações disponíveis. Com o acúmulo de mais dados, algumas hipóteses são reforçadas e outras são abandonadas. As Leis de Hereditariedade de Mendel continuam válidas, mas existem casos especiais que são variações. Vamos ver um exemplo disso nas questões a seguir.

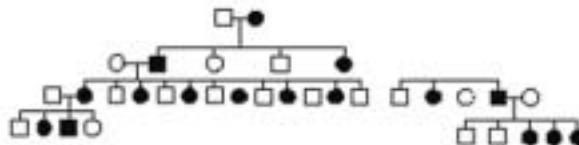
**QUESTÃO DE VESTIBULAR**

**4. (Fuvest)** O daltonismo é causado por um alelo recessivo de um gene localizado no cromossomo X. Em uma amostra representativa da população, entre 1000 homens analisados, 90 são daltônicos. Qual é a porcentagem esperada de mulheres daltônicas nessa população?

- a) 0,81%    b) 4,5%    c) 9%    d) 16%    e) 83%

**QUESTÃO DE VESTIBULAR**

**5. (Fuvest)** Na genealogia abaixo, os símbolos cheios representam pessoas afetadas por uma doença genética rara.



O padrão de herança que melhor explica o heredograma é

- a) autossômico dominante, porque a doença afeta os dois sexos.
- b) autossômico dominante, porque a doença aparece em todas as gerações.
- c) autossômico dominante, porque aproximadamente 50% da prole é afetada.
- d) dominante ligado ao sexo, porque todas as filhas de homens afetados são afetadas.
- e) recessivo ligado ao sexo, porque não há transmissão de homem para homem.

Esses são exemplos de genes que se localizam em um dos cromossomos sexuais e, portanto, não possuem herança mendeliana clássica. Você pode pesquisar nos livros outros tipos de herança não-mendelianas ou variantes dela.



## Unidade 2

# Genética molecular

Organizadores

Paulo Takeo Sano

Lyría Mori

Elaboradores

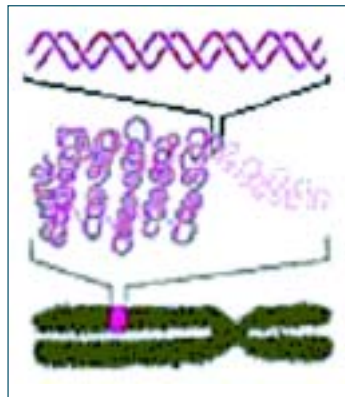
Cristina Yumi Miyaki

Ricardo Venturoso

Mendes da Silveira

Como vimos na Atividade 1, os **genes** (fatores) estão localizados nos **cromossomos** e mais, os genes são seqüências de **DNA**. Cada cromossomo possui uma única molécula dupla fita de DNA (Figura 3), que é duplicada antes da divisão celular. No caso dos experimentos de Mendel, estamos falando de meiose. Imagine que, se um gene de uma característica (textura da semente) se encontra em um cromossomo e o gene de uma outra característica (cor da semente) se localiza em outro cromossomo, ao final da meiose os cromossomos se segregam independentemente e, conseqüentemente, as duas características se segregam de modo independente na formação dos gametas.

**Figura 3** – Representação esquemática de DNA no cromossomo.



Atualmente sabemos por que as sementes de ervilha estudadas por Mendel podem ser lisas ou rugosas. Nas sementes lisas, uma enzima modifica moléculas de amido. Já nas sementes rugosas, essa enzima está ausente e as sementes acumulam sacarose, o que leva a uma pressão osmótica maior e, conseqüentemente, ao acúmulo de maior quantidade de água e maior volume das sementes (esse assunto você já estudou no Módulo 1 – Biologia Celular e pode rever se necessário). Ao amadurecer, as sementes de ervilha perdem a água; assim, as rugosas, como ficaram mais inchadas, ao secar, tornam-se enrugadas, enquanto as lisas, por não terem acumulado muita água, permanecem lisas. E o que isso tem a ver com os “fatores” de Mendel? Resolva a questão a seguir para discutirmos isso.

## QUESTÃO DE VESTIBULAR

6. (Fuvest) Em seu trabalho com ervilhas, publicado em 1866, Mendel representou os fatores hereditários determinantes dos estados amarelo e verde do caráter cor da semente pelas letras **A** e **a**, respectivamente. O conhecimento atual a respeito da natureza do material hereditário permite dizer que a letra **A** usada por Mendel simboliza

- a) um segmento de DNA com informação para uma cadeia polipeptídica.
- b) um segmento de DNA com informação para um RNA ribossômico.
- c) um aminoácido em uma proteína.
- d) uma trinca de bases do RNA mensageiro.
- e) uma trinca de bases do RNA transportador.

Os **fatores** de Mendel, que hoje são denominados **genes**, são segmentos de DNA (ácido desoxirribonucléico) que são usados como modelos para produzir RNA (ácido ribonucléico). No caso de genes que codificam para proteínas, eles serão modelos para produzir **RNA mensageiros** que, por sua vez, vão carregar para o citoplasma as informações (que estavam no núcleo) para a síntese de **proteínas** (polipeptídeos). Usando termos mais técnicos: o DNA é transcrito em RNA mensageiro, que é traduzido em um polipeptídeo. Para tornar tudo isso mais claro, resolva o exercício do Provão a seguir.

## PROVÃO

João trabalha em uma confeitaria cujo proprietário é alemão. Todas as manhãs este deixa, sobre a mesa da cozinha, uma receita em português e os ingredientes de um bolo que João deve preparar. A receita original, escrita em alemão, fica guardada no escritório da confeitaria. Somente o patrão de João pode abrir o escritório e escrever, em português, a receita a ser utilizada naquele dia.

1. Para explicar a leigos o funcionamento de uma célula, fazendo uma analogia com o texto, o bolo, seus ingredientes, a receita em português e a receita em alemão corresponderão, respectivamente, a:

- a) aminoácido, nucleotídeos, DNA e RNA.
- b) nucleotídeo, aminoácidos, RNA e DNA.
- c) polipeptídeo, aminoácidos, RNA e DNA.
- d) DNA, RNA, polipeptídeo e aminoácido.
- e) DNA, aminoácidos, nucleotídeo e polipeptídeo.

2. Continuando a analogia, o escritório, a cozinha e João corresponderão, respectivamente, aos seguintes componentes de uma célula de eucarioto:

- a) citoplasma, núcleo e cromossomo.
- b) núcleo, citoplasma e ribossomo.
- c) citoplasma, núcleo e membrana nuclear.
- d) núcleo, citoplasma e cromossomo.
- e) cromossomo, membrana nuclear e citoplasma.

3. Alguns bolos são servidos assim que saem do forno, enquanto outros recebem acabamento especial. Na analogia considerada, o local da confeitaria onde os bolos recebem recheio e cobertura, corresponde:

**PROVÃO (CONT.)**

- a) à mitocôndria.
- b) ao retículo endoplasmático rugoso.
- c) ao peroxissomo.
- d) ao lisossomo.
- e) ao complexo de Golgi.

No caso da textura das sementes de ervilha, basta uma cópia do **alelo** que produz a enzima que modifica o amido para que o fenótipo da semente seja liso. Esse alelo é um segmento de DNA de cerca de 3.300 pares de nucleotídeos (ou pares de bases). O outro alelo, que não produz a enzima, possui 4.100 pares de bases. Esse segmento de DNA de 800 pares de bases adicionais leva à interrupção da produção da enzima correta.

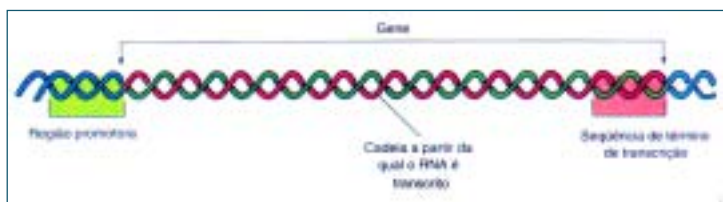
**QE 15:** Sabendo agora que o estado da textura da semente deve-se à presença ou ausência de uma enzima, você consegue explicar como isso se relaciona com o fenótipo ser dominante ou recessivo e sua relação com o genótipo?

**QE 16:** Pesquise nos livros as características da estrutura do DNA e escreva-as no seu caderno.

Como o maquinário celular consegue localizar quais seqüências de DNA devem ser transcritas em RNA? Existem marcas no início e no final dos genes que vão sinalizar o início e o término da síntese do RNA. Essas marcas são seqüências especiais de pares de bases que são chamadas, respectivamente, regiões promotoras e seqüências de término de transcrição.

Na Figura 4 está esquematizada a estrutura de um gene. Analise-a e veja que: 1) o DNA dupla fita representado na figura continua tanto antes da região promotora como após a seqüência de término de transcrição; 2) é na região promotora onde a enzima que produz RNA (polimerase do RNA) se encaixa para iniciar a síntese; 3) após o encaixe, a polimerase do RNA se desloca sobre o DNA, separando a dupla-hélice e sintetiza a molécula de RNA usando como modelo uma das cadeias de DNA (vermelha); portanto, esse RNA possui seqüência complementar à esse segmento de DNA; 4) a polimerase do RNA progride até encontrar a seqüência de término de transcrição.

**Figura 4** – Representação esquemática de um gene.



Fonte: PEB II- Aperfeiçoamento de professores - Construindo Sempre - Biologia, p 37, 2002.

**QE 17:** Se a polimerase do RNA usasse como modelo a outra cadeia de DNA (verde), a seqüência do RNA produzido seria a mesma que a seqüência da molécula de RNA representada na Figura 4? Explique levando em conta a complementaridade das bases nitrogenadas das duas cadeias do DNA.



Você deve estar perguntando por que é necessário saber tanta coisa sobre o RNA... Olha, é ele quem carrega a informação que está no DNA e que será transformada em proteínas; e você já viu que as proteínas são muito importantes para manter o bom funcionamento celular e, conseqüentemente, na determinação das características de um indivíduo. Mas como a seqüência de DNA de um gene pode determinar a seqüência de aminoácidos de uma cadeia polipeptídica? Seguindo regras estabelecidas no **código genético**. Segundo o dicionário Aurélio, **código** é “um sistema de símbolos (letras, números ou palavras) usado para representar um certo significado preestabelecido, às vezes secreto”. Assim, no código genético, sabe-se que: 1) cada **aminoácido** de uma proteína é especificado por uma seqüência de três bases de nucleotídeos no RNA mensageiro correspondente (**códon**); 2) quase todos os aminoácidos possuem mais de um códon correspondente; 3) cada códon corresponde a um único aminoácido; 4) mas existem três códons sem aminoácidos associados (códon sem sentido ou de término de tradução) e que determinam o final da região da molécula de RNA mensageiro que codifica proteína; 5) todo polipeptídeo inicia-se com um códon determinado que se localiza na extremidade inicial do RNA mensageiro (códon de início de tradução).

**QE 18:** Procure em um livro a tabela do código genético e a analise buscando compreender as regras listadas.

**QE 19:** Analise a seguinte frase: “Ave sem asa não voa”, ela é lógica? Se a letra “s” for retirada ou perdida, a frase se torna: “Ave ema san aov oa”, ela continua lógica? E se dessa frase for retirado “sa”, temos: “Ave ema nao voa”, volta a ter lógica? Será que você consegue estabelecer alguma relação dessas frases e o código genético? Explique.

**QE 20:** Voltando para a primeira frase: “Ave sem asa não voa”, se a letra “s” for substituída por “t”, a frase fica: “Ave tem asa não voa”. Ela tem lógica (não é o caso da ema)? Será que você consegue estabelecer alguma relação dessas frases e o código genético? Explique.

Só existe esse tipo de RNA que codifica para proteínas e é chamado de RNA mensageiro (RNAm)? Não, existem também: 1) os **RNA ribossomais** (RNAr), que se associam a proteínas formando os ribossomos (estruturas citoplasmáticas responsáveis pela a síntese de proteínas) e 2) os **RNA transportadores** (RNAt), que capturam aminoácidos livres na célula e os conduzem até os ribossomos; cada RNAt possui uma seqüência de três bases chamada de anticódon, que se emparelha de modo complementar com o códon no RNAm. Como você pode ver, esses tipos de RNA também são essenciais na síntese de proteínas e vamos discutir isso a seguir.

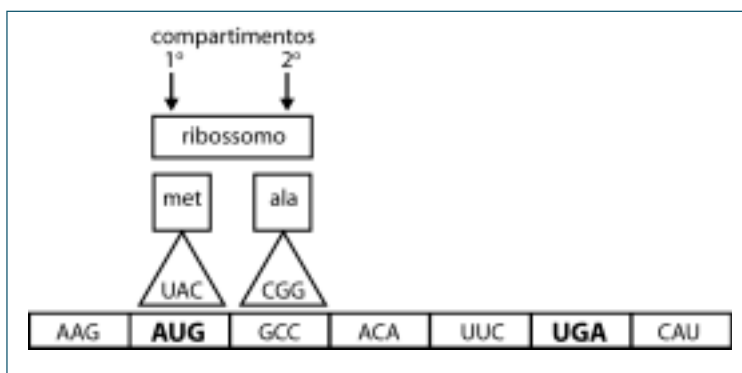
A síntese de um polipeptídeo se inicia com a associação de um ribossomo, um RNA mensageiro (RNAm) e um RNA transportador (RNAt) especial. O anticódon desse RNAt especial se emparelha com o códon de início da tradução no RNAm, assim, o aminoácido inicial da cadeia polipeptídica que será sintetizada se posiciona no local correto, aguardando a ligação do próximo aminoácido. O ribossomo possui dois compartimentos, sendo que em cada um apenas uma molécula de RNAt pode se encaixar. Vamos representar a tradução com a atividade descrita a seguir.

## ATIVIDADE 2

**Tradução (síntese de proteínas)**

Faça um grupo com 4 ou 5 colegas. Corte um retângulo de papel de 15 x 3 cm e escreva “ribossomo”. Faça uma marca bem no meio do comprimento do papel para demarcar 2 compartimentos do ribossomo (veja a Figura 5). Corte 7 retângulos de papel de 7 x 5 cm para representar 7 códon de um RNAm; coloque-os lado a lado sobre a mesa e escreva neles: AAG, AUG, GCC, ACA, UCC, UGA e CAU. Siga essa ordem da esquerda para a direita. O AUG é o códon de início e o UGA é o de término, sublinhe-os. Faça 4 triângulos isósceles de papel de 7 cm e escreva, em cada um, os anticódons para os códon AUG, GCC, ACA e UCC. Corte 4 quadrados de papel de 5 cm e escreva em cada um os nomes dos aminoácidos correspondentes a cada um desses 4 códon: met (metionina), ala (alanina), tre (treonina) e fen (fenilalanina). Grude com fita o anticódon e seu aminoácido. Olhe a Figura 4 e vamos simular a tradução: 1) posicione na mesa o RNAt especial + aminoácido sobre o códon de início, sem sobrepô-lo; 2) posicione o primeiro compartimento do ribossomo sobre o conjunto de RNAt especial + aminoácido; 3) observe o segundo códon e procure o RNAt com anticódon complementar, coloque esse RNAt + aminoácido sobre o segundo códon e abaixo do segundo compartimento do ribossomo; 4) ligue os 2 aminoácidos com fita e corte a fita que liga o RNAt inicial ao seu aminoácido; 5) desloque o ribossomo para a direita de modo que o RNAt correspondente ao segundo códon se posicione sob o primeiro compartimento; 6) retire o RNAt especial que agora está fora do ribossomo; 7) repita o mesmo procedimento até encontrar o códon de término. Deu para entender como acontece a síntese de proteínas dentro da célula?

**Figura 5** – Representação da atividade de tradução



Vamos imaginar uma seqüência de 15 bases de um gene que codifica para proteína representado pela frase: “Ave sem asa não voa”. Cada uma das bases é representada por uma letra da frase. A perda de 1 base representada pela letra “s” resulta em: “Ave ema san ãov ao” e a oração perde a coerência (e a proteína também não funcionaria bem). A substituição dessa mesma letra “s” da frase inicial por um “t” resulta em uma frase diferente e com nexo: “Ave tem asa não voa” (é o caso da ema). No caso da seqüência de bases, tanto a perda (ou ganho) quanto a substituição de base constituem mutações, ou seja, mudanças em relação ao estado inicial.

**QE 21:** No enunciado da questão 2 da FUVEST de 2004 que já discutimos, há a seguinte frase “[...] um dos representantes de um par de alelos mutou por perda de uma seqüência de pares de nucleotídeos”. Agora que já vimos a ligação entre seqüência do DNA e seqüência de proteínas, que tipos de efeitos essa perda de “[...] seqüência de pares de nucleotídeos” pode ter ao nível da seqüência do polipeptídeo sendo sintetizado e o fenótipo? Além da perda de pares de nucleotídeos, que outros tipos de mutações você encontra nos livros e quais tipos de efeitos elas podem gerar ao nível da seqüência do polipeptídeo sendo sintetizado e o fenótipo?

As **mutações** são eventos bons ou ruins? Depende da maneira como encaramos. Uma mutação em um gene pode levar a uma doença, mas a mutação traz **variabilidade genética** e, sem ela, não há **evolução biológica** e não haveria essa diversidade de organismos que vemos hoje; até a espécie humana não estaria aqui...

Hoje temos disponível uma tecnologia que nos permite manipular o DNA de modo bem controlado. Isso se iniciou no meio da década de 1970, quando foram descobertas enzimas capazes de cortar a dupla-fita do DNA em seqüências de pares de bases específicas. Essas enzimas foram denominadas de enzimas de restrição.

Ao cortar DNA de origens diferentes com uma mesma enzima de restrição, podemos combiná-los, criando moléculas novas. É assim que são construídos os **organismos transgênicos** tão famosos... Ou seja, é possível inserir um gene de interesse em um organismo que não o possui e ele passa a produzir o produto desse gene. Um exemplo é o hormônio insulina, tão importante para diabéticos, que é produzido por bactérias transgênicas.

Outra aplicação decorrente do desenvolvimento dessas tecnologias é, por exemplo, o **teste de paternidade** que vemos nas novelas e programas de televisão. Você sabe como esse teste funciona? Como vimos, um indivíduo herda seu material genético de seus pais. Metade dos cromossomos tem origem materna e metade tem origem paterna. Assim, é importante coletar amostras de células da mãe, do possível pai e do filho. Essas amostras serão fontes de material genético. Para entendermos melhor, vamos resolver e discutir a questão a seguir.



## QUESTÃO DE VESTIBULAR

**7. (Fuvest)** Num caso de investigação de paternidade, foram realizados exames para identificação de grupos sanguíneos e análise de DNA. A tabela abaixo resume os resultados parciais da análise de grupos sanguíneos (do menino, de sua mãe e do suposto pai) e de duas seqüências de DNA (do menino e do suposto pai), correspondentes a um elemento localizado num autossomo e outro no cromossomo X.

| Exames   | Resultados                 |     |                            |
|--|----------------------------|-----|----------------------------|
|  | Menino                     | Mãe | Suposto pai                |
| Grupo sanguíneo                                | O                          | A   | B                          |
| Seqüência de DNA localizado em um autossomo    | AAA CCA GAG<br>TTT GGT CTC | -   | AAA CCA GAG<br>TTT GGT CTC |
| Seqüência de DNA localizado em um cromossomo X | AAA CAG ACG<br>TTT GTC TGC | -   | AAC CAA ACA<br>TTG GTT TGT |

Considerando apenas essa tabela, podemos afirmar que

- os resultados dos grupos sanguíneos excluem a possibilidade do homem ser pai da criança; os outros exames foram desnecessários.
- os resultados dos grupos sanguíneos não excluem a possibilidade do homem ser pai da criança, mas a seqüência de DNA do cromossomo X exclui.
- os resultados dos grupos sanguíneos e de DNA não excluem a possibilidade do homem ser pai da criança.
- os três resultados foram necessários para confirmar que o homem é mesmo o pai da criança.
- os resultados de DNA contradizem os resultados dos grupos sanguíneos.



# Unidade 3

# *Evolução*

Organizadores

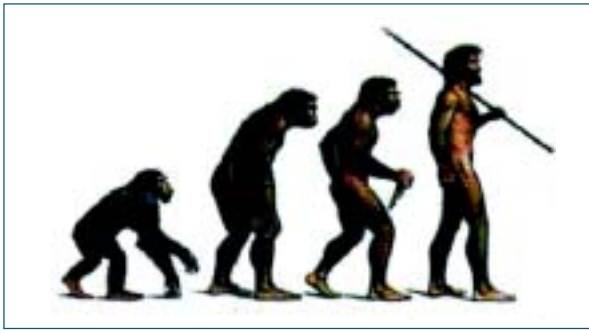
Paulo Takeo Sano

Lyría Mori

Elaborador

Rodrigo Venturoso  
Mendes da Silveira

Quais são as idéias apresentadas nessa imagem?



A imagem do macaco evoluindo para o homem é muito comum. Suas diversas versões brincam inclusive com o futuro da espécie humana. No entanto, qual é o significado do termo **evolução** apresentado nessa imagem?

A **evolução biológica** é uma forma de explicar a diversidade de seres vivos que conhecemos. Seguindo as idéias evolutivas, essa figura apresenta alguns equívocos. Um deles é que o macaco se transformou em ser humano. A transformação é uma das idéias básicas da teoria evolutiva, mas não dessa forma. A idéia de que o macaco vai melhorando até chegar ao ser humano, segundo a teoria evolutiva, também é equivocada.

Macacos e seres humanos compartilham, seguindo as idéias evolutivas, um **ancestral comum**. Você e seu irmão podem compartilhar ancestrais comuns: seu pai e sua mãe. Seu tio e seu pai podem compartilhar ancestrais comuns também: seu avô e sua avó. Mas você, seu irmão, seu pai e seu tio não apresentam tantas diferenças quanto as existentes entre o ser humano e o macaco. O ancestral que eles compartilham existiu há milhões de anos atrás. Com tanto tempo, pequenas modificações foram se acumulando e resultaram em espécies tão diferentes: macacos e seres humanos.

Isso já derruba a idéia de que o ser humano é um macaco melhorado, pois os dois são resultados desse tempo de evolução. Além disso, ambos estão adaptados ao meio em que vivem. Parece até que eles foram desenhados especialmente para viver onde vivem. E para você, qual é o significado do termo adaptação?



Társio, espécie encontrada em áreas escuras



O macaco-aranha consegue se pendurar em galhos durante o deslocamento

E ao analisar essas imagens, o que é adaptação?

Se a seleção brasileira de futebol vai jogar em elevadas altitudes (na Colômbia, por exemplo), os jogadores chegam dias antes do jogo para se adaptar, já que teriam dificuldades na obtenção de gás oxigênio. Quando retornam ao Brasil, os jogadores perdem essa característica. Mesmo que continuem vivendo na Colômbia, essa característica não será transmitida aos seus futuros filhos.

No entanto, quando estudamos as idéias evolutivas, temos que utilizar um outro conceito de **adaptação**, no qual as características já herdadas pelo indivíduo lhe permitem viver em um determinado habitat. Assim, tanto os macacos como os seres humanos estão adaptados aos ambientes em que vivem.

Essa adaptação parece ser resultado de um processo conhecido como **seleção natural**. As populações biológicas apresentam pequenas variações dentre os seus indivíduos. Essas variações podem permitir que alguns indivíduos sobrevivam a variações do ambiente, por exemplo, que tolerem uma diminuição do pH de um lago ou tenham facilidade em conseguir alimento em períodos de escassez. Os indivíduos que sobrevivem às mudanças ambientais podem transmitir tais características à sua prole.

A sobrevivência diferencial de indivíduos ou uma vantagem reprodutiva causadas por uma característica determinada geneticamente modificam a constituição de uma população. Por exemplo, uma população de orquídeas consegue atrair muitos insetos machos por ter uma de suas pétalas com formato e cor semelhantes a uma fêmea. Ao tentar copular com a pétala, o macho fica impregnado de pólen, que então será transportado até outras orquídeas.

No entanto, se algumas orquídeas começarem a exalar um perfume parecido com um feromônio (atrativo sexual), os insetos machos serão atraídos ainda mais a esses indivíduos. Com isso, as orquídeas que produzem tal odor conseguem polinizar muitas outras flores. Se essa característica for genética, depois de algumas gerações, grande parte da população de orquídeas também produzirá esse feromônio, ou seja, apresentará essa adaptação.

Essa característica das orquídeas, a produção do perfume, apareceu na população e foi transmitida para as gerações seguintes, ficando cada vez mais freqüente, ou seja, cada vez mais indivíduos apresentavam essa característica. No entanto, ela não apareceu *para* atrair esses insetos.

Muitas pessoas consideram que as adaptações aparecem em uma população *para* desempenhar uma função específica. Quando vemos os diferentes macacos, podemos pensar que uma espécie apresenta braços longos para se pendurar nos galhos ou que outra possui olhos grandes para enxergar melhor no escuro. No entanto, as características não surgem com uma ou outra *finalidade*. Ao surgir, se elas permitirem a sobrevivência dos indivíduos ou au-



mentarem as chances de reprodução desses indivíduos, elas se fixam na população.

Imaginar que uma espécie foi desenhada para viver em seu habitat é um equívoco segundo as idéias evolutivas, pois as populações vão sofrendo modificações ao longo do tempo, de acordo com as variações do ambiente. Outro exemplo interessante é o de bactérias.

Para combater uma infecção bacteriana, podemos utilizar um antibiótico. No entanto, dentre as diversas variações, algumas bactérias podem possuir resistência a esse antibiótico específico. Ao matarmos grande parte das bactérias usando o antibiótico, apenas as já resistentes sobreviverão e terão muitos recursos disponíveis, permitindo rápida multiplicação. Praticamente todas as bactérias descendentes dessas sobreviventes também serão resistentes ao antibiótico.

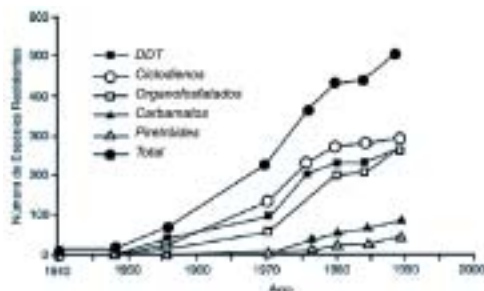
#### QUESTÃO DE VESTIBULAR

**8. (Fuvest)** A bactéria *Streptococcus iniae* afeta o cérebro de peixes, causando a “doença do peixe louco”. A partir de 1995, os criadores de trutas de Israel começaram a vacinar seus peixes. Apesar disso, em 1997, ocorreu uma epidemia causada por uma linhagem de bactéria resistente à vacina. Os cientistas acreditam que essa linhagem surgiu por pressão evolutiva induzida pela vacina, o que quer dizer que a vacina:

- induziu mutações específicas nas bactérias, tornando-as resistentes ao medicamento.
- induziu mutações específicas nos peixes, tornando-os suscetíveis à infecção pela outra linhagem de bactéria.
- causou o enfraquecimento dos órgãos dos peixes permitindo sua infecção pela outra linhagem de bactéria.
- levou ao desenvolvimento de anticorpos específicos que, ao se ligarem às bactérias, tornaram-nas mais agressivas.
- permitiu a proliferação de bactérias mutantes resistentes, ao impedir o desenvolvimento das bactérias da linhagem original.

#### PARA PENSAR

Como você explicaria os resultados apresentados nesse gráfico?



Aumentos dos números de espécies de pragas resistentes às principais classes de inseticidas. (De R. L. Metcalf em: R. L. Metcalf e W. H. Luckman (eds.), *Introduction to Insect Pest Management*, 3a edição, p. 251. Copyright 1994 de John Wiley and Sons, N.Y.J.

As **variações entre os indivíduos** de uma população são fundamentais, mas como essas variações aparecem? Pesquise na Unidade 1 o conceito de **segregação independente** dos cromossomos, bem como o de **permutação**.

Outro fator que provoca essa variação é a **mutação**, conceito trabalhado na Unidade 2.

Essas noções de genética e biologia molecular não eram conhecidas quando Charles Darwin apresentou sua teoria sobre a origem das espécies. Como naturalista, Darwin foi convidado para realizar uma viagem pelo mundo a bordo do navio *H.M.S. Beagle*. Durante a viagem, que durou cinco anos, Darwin observou diferentes ambientes e muitas espécies animais e vegetais. Além de conhecer novas espécies, elas as coletava e as enviava para a Inglaterra. Dentre os exemplares de besouros, lagartos e flores, Darwin coletou alguns fósseis de preguiças e tatus gigantes extintos.

Além dos fósseis, Darwin percebeu uma **diversidade** de aves em um arquipélago chamado Galápagos. Apesar das cores parecidas, essas aves apresentavam bicos muito distintos. Os habitantes de Galápagos conseguiam identificar de qual ilha era a ave apenas pelo bico dela. Darwin percebia que as espécies apresentavam variações no tempo e no espaço. E esse tipo de informação foi fundamental para a idéia que Darwin viria a publicar no livro *A origem das espécies*.

Outra idéia importante foi obtida após a leitura do livro *Ensaio sobre o princípio da população*, de Thomas Malthus. No livro, o autor apontava que a população humana cresce muito mais rápido que a produção de alimentos e a de outros recursos necessários para sua sobrevivência. Além desse livro, Darwin também conheceu *Princípios de geologia*, de Charles Lyell. Nessa obra, o autor apresenta a idéia de que a paisagem atual da Terra é produto de transformações lentas e graduais: rios e montanhas, segundo o autor, não apareciam rapidamente no ambiente.

Reunindo essas idéias, Darwin propõem um mecanismo para a origem das espécies: a **seleção natural**. Como não existem recursos suficientes no ambiente para a existência de todos os indivíduos possíveis de uma população, os que apresentam características adequadas para a sobrevivência nesse ambiente podem se reproduzir mais, transmitindo tal característica a seus descendentes. Essas características selecionadas podem se acumular ao longo de muitíssimas gerações. No entanto, a transmissão das variações selecionadas não parece garantir a formação de espécies diferentes, pois todos os indivíduos da população sofreriam as mesmas pressões seletivas do ambiente.

E se algum evento ocorre separando a população em dois grupos diferentes? Esse **isolamento geográfico** poderia ser a formação de um rio, separando uma área seca em duas, ou o aparecimento de uma área de baixa temperatura entre duas quentes, o surgimento de uma cordilheira etc. Com esse tipo de evento, teríamos uma população separada em dois novos grupos, que sofreriam os efeitos de modificações ambientais diferentes, ou melhor, pressões seletivas distintas, variando e sendo selecionadas como populações distintas.

Para que isso aconteça, o isolamento deve ser suficiente para impedir a troca de material genético entre as populações, o **isolamento reprodutivo**. Com isso, as variações selecionadas na população em uma área serão diferentes das do outro local. Se as diferenças acumuladas ao longo do tempo forem suficientes para impedir que essas populações voltem a se reproduzir, mesmo voltando a ocupar uma mesma área, consideramos que duas novas espécies se formaram durante um processo de **especiação**.



**FUVEST** – Mariposas da espécie *Biston betularia* de cor escura (melânicas) eram raras em Manchester, Inglaterra, por volta de 1895. Predominavam os espécimes de cor clara, que se camuflavam sobre os líquens das cascas das árvores. Em 1950, porém, verificou-se que quase 90% das mariposas eram melânicas nas áreas que se tornaram industriais, onde fuligem negra produzida pelas fábricas recobriu o tronco das árvores.

- Explique esse aumento das mariposas melânicas entre 1895 e 1950 com base na seleção natural.
- Por que é possível afirmar que a coloração dessas mariposas é um caráter determinado geneticamente?

**UNESP** – Três populações de insetos, X, Y e Z, habitantes de uma mesma região e pertencentes a uma mesma espécie, foram isoladas geograficamente. Após vários anos, com o desaparecimento da barreira geográfica, verificou-se que o cruzamento dos indivíduos da população X com os da população Y produzida híbridos estéreis. O cruzamento dos indivíduos da população X com os da população Z produzia descendentes férteis, e o dos indivíduos da população Y com os da população Z não produzia descendentes.

A análise desses resultados permite concluir que:

- X, Y e Z continuaram pertencendo à mesma espécie.
- X, Y e Z formaram três espécies diferentes.
- X e Z tornaram-se espécies diferentes e Y continuou a pertencer à mesma espécie.
- X e Z continuaram a pertencer à mesma espécie e Y tornou-se uma espécie diferente.
- X e Y continuaram a pertencer à mesma espécie e Z tornou-se uma espécie diferente.

Outro naturalista, Jean Baptiste Lamarck, já tinha idéias sobre a transformação das espécies antes de Charles Darwin. Lamarck percebeu que as espécies mudavam ao longo do tempo. Para explicar essas mudanças, Lamarck também destacava o papel do ambiente. No entanto, para ele, os organismos desenvolviam as características de acordo com as necessidades do meio. Essas características desenvolvidas para determinado fim eram transmitidas para a geração seguinte.

**FUVEST** – “Para o homem poder suportar a intensa radiação solar nos trópicos, as células de sua pele adquiriram a capacidade de fabricar muita melanina.”

Esta é uma frase lamarckista. Critique-a com base no pensamento darwinista.

#### QUESTÃO DE VESTIBULAR

**9. (Fuvest)** Um surfista que se expunha muito ao sol sofreu danos em seu DNA em consequência de radiações UV, o que resultou em pequenos tumores na pele. Caso ele venha a ser pai de uma criança, ela:

- só herdará os tumores se tiver ocorrido dano em um alelo dominante.
- só herdará os tumores se tiver ocorrido dano em dois alelos recessivos.
- só herdará os tumores se for do sexo masculino.
- herdará os tumores, pois houve dano no material genético.
- não herdará os tumores.

De fato, podemos mudar nossas características. Eu posso fazer muitos exercícios físicos e melhorar meu desempenho em corridas. No entanto, essa mudança ocorre dentro de limites da minha constituição genética. E mais, meus descendentes não terão o mesmo desempenho que eu tive, exceto se treinarem como eu. No caso do surfista, ele teve uma alteração genética. Uma mutação provocou um tipo de câncer de pele. Mesmo sendo genética, essa característica adquirida não será transmitida para seu filho, pois não ocorreu nas células sexuais, os gametas.

**FUVEST** – Entre os cães domésticos encontramos uma grande diversidade morfológica (p. ex.: Fox, São Bernardo, Doberman, Poodle e muitos outros). Já entre os cães selvagens (Cachorro-do-mato, Lobo-guará), a diversidade é muito menor.

a) Como se explica, em termos evolutivos, essa diferença?

b) Por que os cães “vira-latas” são, em média, mais resistentes a doenças que os cães com pedigree?

**UNESP** – Em algumas ilhas do arquipélago de Galápagos são encontrados cactos rasteiros, cujas flores ficam próximas ao chão, não sendo constatada a presença de iguanas terrestres. Nas ilhas onde vivem as iguanas, os cactos são arborescentes e suas flores encontram-se localizadas distantes do chão. Como você explica esses fatos, segundo as teorias evolutivas de Lamarck e Darwin?

As **idéias lamarckistas** e **darwinistas** apresentam semelhanças: ambas admitem a transformação das espécies. Até então, a maior parte das pessoas acreditava no **fixismo**, na qual as espécies criadas permaneceram sem modificações por toda a história da vida na Terra. E qual fato você utilizaria para derrubar tal explicação?

Além disso, Lamarck e Darwin não tinham clareza de como ocorria a transmissão dos caracteres ou como a variabilidade surgia. Essas explicações só aparecem com os trabalhos de Mendel (reveja, na Unidade 1, o que motivou Mendel a trabalhar com herança biológica).

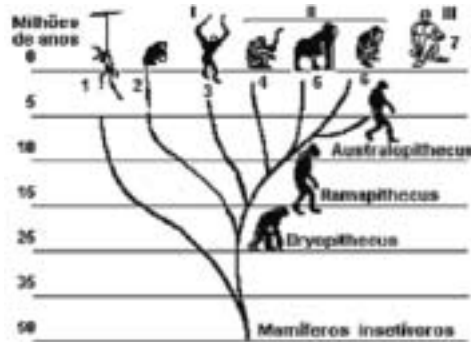
À associação das idéias de Darwin com as da Genética, damos o nome de Neodarwinismo, também conhecido como a teoria sintética da evolução. De acordo com essas idéias, as populações biológicas apresentam variações causadas por segregação independente dos cromossomos, mutações ou permutações. A frequência dos diferentes alelos em uma população pode variar por ação, por exemplo, da seleção natural, já que existe uma sobrevivência ou taxa de reprodução diferencial dos indivíduos de acordo com suas características genéticas.

Ainda de acordo com as **idéias neodarwinistas**, as espécies surgem por um isolamento reprodutivo de populações, às vezes provocado por um isolamento geográfico. Esse acúmulo de diferenças, ao longo do tempo, deu origem à grande diversidade de formas de vida que conhecemos.

**ENEM** – O assunto na aula de Biologia era a evolução do Homem. Foi apresentada aos alunos uma árvore filogenética, igual à mostrada na ilustração, que relacionava primatas atuais e seus ancestrais.

Legenda da ilustração:

- |                           |               |                  |
|---------------------------|---------------|------------------|
| 1 – Simios do Novo Mundo  | 5 – Gorila    | I – Hílobatídeos |
| 2 – Simios do Velho Mundo | 6 – Chimpanzé | II – Pongídeos   |
| 3 – Gibão                 | 7 – Homem     | III – Hominídeos |
| 4 – Orangotango           |               |                  |



“Árvore filogenética provável dos antropóides”

Após observar o material fornecido pelo professor, os alunos emitiram várias opiniões, a saber:

- I. Os macacos antropóides (orangotango, gorila e chimpanzé e gibão) surgiram na Terra mais ou menos contemporaneamente ao Homem.
- II. Alguns homens primitivos, hoje extintos, descendem dos macacos antropóides.
- III. Na história evolutiva, os homens e os macacos antropóides tiveram um ancestral comum.
- IV. Não existe relação de parentesco genético entre macacos antropóides e homens.

1. Analisando a árvore filogenética, você pode concluir que:

- a) todas as afirmativas estão corretas.
- b) apenas as afirmativas I e III estão corretas.
- c) apenas as afirmativas II e IV estão corretas.
- d) apenas a afirmativa II está correta.
- e) apenas a afirmativa IV está correta.

2. Foram feitas comparações entre DNA e proteínas da espécie humana com DNA e proteínas de diversos primatas. Observando a árvore filogenética, você espera que os dados bioquímicos tenham apontado, entre os primatas atuais, como nosso parente mais próximo o:

- a) Australopithecus.
- b) Chimpanzé.
- c) Ramapithecus.
- d) Gorila.
- e) Orangotango.

3. Se fosse possível a uma máquina do tempo percorrer a evolução dos primatas em sentido contrário, aproximadamente quantos milhões de anos precisaríamos retroceder, de acordo com a árvore filogenética apresentada, para encontrar o ancestral comum do homem e dos macacos antropóides (gibão, orangotango, gorila e chimpanzé)?

- a) 5
- b) 10
- c) 15
- d) 30
- e) 60

QUESTÃO DE VESTIBULAR

10. (Fuvest) Examine a árvore filogenética adiante:



Esperamos encontrar maior semelhança entre genes de:

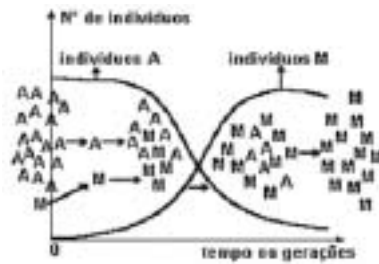
- a) bactéria e protozoário.
- b) peixe e baleia.
- c) baleia e pássaro.
- d) estrela-do-mar e ostra.
- e) ostra e coral.

Figura – História evolutiva da vida na Terra





**FATEC** – A seguir temos a representação esquemática de uma população de indivíduos A de uma determinada espécie. Nesta população surge um mutante M, cuja origem é desconhecida.

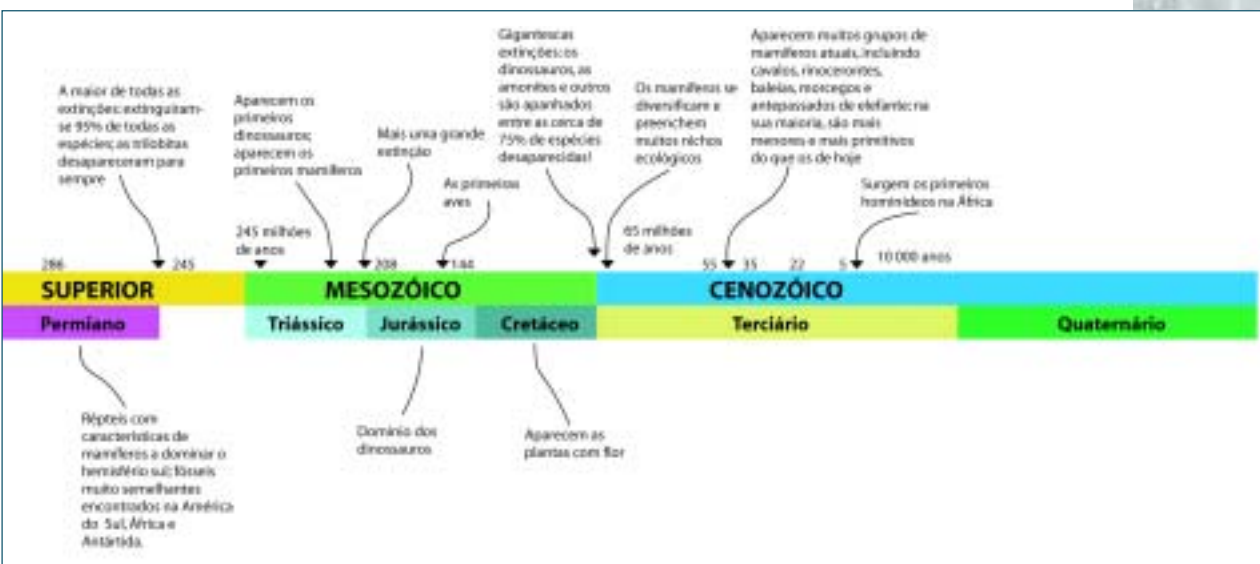


Assinale a alternativa que se relaciona corretamente com o gráfico:

- a) a mutação em M determina a manifestação de caráter indesejável, tornando o indivíduo menos apto a sobreviver.
- b) a mutação em M melhora sua relação com as exigências do meio ambiente, tornando o indivíduo mais apto à sobrevivência.
- c) os indivíduos A foram certamente, contaminados por um vírus mutante que se desenvolveu nos indivíduos M, provocando sua extinção.
- d) os indivíduos M foram, certamente, afetados por um vírus que os tornou também mutantes e mais aptos a sobreviver, facilitando a sobrevivência dos indivíduos A.
- e) as mutações em M tornaram, certamente, os indivíduos A estéreis, razão fundamental de sua extinção.

A noção de tempo em escala geológica (mil, milhões ou bilhões de anos) não é intuitiva. Mal conseguimos dimensionar 500 anos, imagine cerca de 3,5 bilhões de anos. Parece que foi esse o tempo que a vida teve para se diversificar da forma que conhecemos hoje.

Você já sabe que as pressões seletivas vão se alterando ao longo do tempo. O surgimento dos primeiros animais terrestres e a diversidade dos mamíferos podem ser explicados por eventos biológicos que os precederam. Que eventos seriam esses?



## Leitura Recomendada

GONICK, Larry; WHELLIS, Mark. *Introdução ilustrada à genética*. Editora Harbra, 1995.

“Evolução”. *Ciência hoje na escola*. SBPC, 2001. v. 9.

## Material consultado

MIYAKI, Cristina Yumi; AMABIS, José Mariano; MORI, Lyria; MENDES DA SILVEIRA, Rodrigo Venturoso. *Módulo 1 de Biologia*. Programa de Educação Continuada, Programa Construindo Sempre-Aperfeiçoamento de Professores, 2003.

MARTHO, Gilberto Rodrigues; AMABIS, José Mariano. *A ciência da Biologia* São Paulo: Editora Moderna, 1988. v. 3.

## Sobre os autores

### *Cristina Yumi Miyaki*

Professora de Biologia Molecular do Departamento de Biologia da Universidade de São Paulo. Bacharel em Ciências Biológicas pela USP. Mestre e doutora em Biologia (Genética) também pelo Instituto de Biociências da USP. Desenvolve pesquisa em Genética e Evolução de Aves.

### *Rodrigo Venturoso Mendes da Silveira*

Professor de Biologia do Ensino Médio e de Ciências para o Ensino Fundamental. Bacharel e Licenciado em Ciências Biológicas pela USP. Mestre em Biologia (Genética) também pelo Instituto de Biociências da USP dissertando sobre o Ensino de Genética. Desenvolveu materiais didáticos para Internet e cursos de formação continuada para professores.

## Anexo

Sugerimos que as Questões de Execução (QE) devem ser discutidas em pequenos grupos de alunos e com o monitor. No texto está indicado em que momento seria interessante explorar as QE.

### *Respostas das questões da Fuvest*

Questão 1: d;

Questão 2: b;

Questão 3: b;

Questão 4: b;

Questão 5: d;

Questão 6: a;



Questão 7: c. Resolução detalhada: em relação ao tipo sanguíneo, o homem pode ser pai da criança? Sim, se ele e a mãe forem heterozigotos, o filho pode ter tipo O. A seqüência de DNA de um autossomo exclui que o homem pode ser o pai? Não, pois as seqüências do homem e do menino são idênticas; no entanto, há algumas considerações: 1) se essa seqüência da mãe também for idêntica, não é possível confirmar a paternidade, pois não seria possível determinar se o menino herdou essa seqüência da mãe ou do suposto pai; 2) tendo a seqüência desse autossomo da mãe, também seria interessante ter as seqüências do outro cromossomo homólogo para o trio (menino, mãe e suposto pai) de modo a completar a análise; assim, se a seqüência do outro autossomo da mãe for idêntica a do menino, o homem poderia ser o pai. A seqüência de DNA do cromossomo X traz alguma informação em relação à paternidade nesse caso? Não, pois o cromossomo X do menino foi herdado da mãe. Enfim, para confirmar a paternidade nesse caso seria necessário mais informações sobre outros segmentos de DNA de autossomos do trio (pai, mãe e filho). Assim, a alternativa correta é “c”.

Questão 8: e;

Questão 9: e;

Questão 10: c.

### ***Respostas das questões do Provão***

Questão 1: c;

Questão 2: b;

Questão 3: b.

### ***Resposta da questão da Unesp***

Questão 1: d.

### ***Resposta das questões do Enem***

Questão 1: b;

Questão 2: b;

Questão 3: c.

### ***Resposta da questão do Fatec***

Questão 1: b.

# Anotações