

Transmissão da Vida

**Formação continuada de professores
Biologia - Ensino Médio**

CURSO DE
ATUALIZAÇÃO PARA
PROFESSORES
DE CIÊNCIAS
E BIOLOGIA

*Diretoria de
Extensão da
Fundação Cecierj*

*Beatriz Saddy Martins
Carolina Nascimento Spiegel
Daniel Fábio Salvador
Filipe Cavalcanti da Silva Porto
Paula Magalhães Souza Deccache e
Paulo Roberto de Amoretty*





Centro de Educação Superior a Distância do Estado do Rio de Janeiro

Transmissão da Vida

**Formação continuada de professores
Biologia - Ensino Médio**

CURSO DE
ATUALIZAÇÃO PARA
PROFESSORES
DE CIÊNCIAS
E BIOLOGIA

*Diretoria de
Extensão da
Fundação Cecierj*

*Beatriz Saddy Martins
Carolina Nascimento Spiegel
Daniel Fábio Salvador
Filipe Cavalcanti da Silva Porto
Paula Magalhães Souza Deccache e
Paulo Roberto de Amoretty*

GOVERNO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

Governador

Luiz Fernando de Souza Pezão

Vice-Governador

Francisco Oswaldo Neves Dornelles

Secretário de Estado de Ciência, Tecnologia, Inovação e Desenvolvimento Social

Gabriell Carvalho Neves Franco dos Santos

FUNDAÇÃO CECIERJ

Presidente

Carlos Eduardo Bielschowsky

PRODUÇÃO DO MATERIAL

Elaboração de conteúdo

Beatriz Saddy Martins
Carolina Nascimento Spiegel
Daniel Fábio Salvador
Filipe Cavalcanti da Silva Porto
Paula Magalhães Souza Deccache e
Paulo Roberto de Amoretty

Organização de conteúdo

Daniel Fábio Salvador
Roberta Flavia Ribeiro Rolando Vasconcellos
Onofre Saback dos Anjos

Direção de Design Instrucional

Cristine Costa Barreto

Editores(organizadores)

Roberta Flavia Ribeiro Rolando Vasconcellos
Daniel Fábio Salvador

Revisão de português

Alexandre Rodrigues Alves

Diretoria de Material Impresso

Marianna Bernstein

Ilustração

Renan Alves

Capa

Renan Alves

Programação Visual

Núbia Roma

Produção Gráfica

Fábio Rapello Alencar
Ulisses Schnaider

Copyright © 2018, Fundação Cecierj / Consórcio Cederj

T772

Transmissão da Vida. Formação continuada de professores Biologia - Ensino médio /

Beatriz Saddy Martins...[et al]. – Rio de Janeiro : Fundação Cecierj,2018. (Curso de atualização para professores de Ciências e Biologia).

ISBN: 978-85-458-0127-6

1. Biologia. 2 Transmissão da vida. 3. Genética. 4. DNA. I. Spiegel, Carolina Nascimento. II. Porto, Filipe Cavalcanti da Silva. III. Deccache, Paula Magalhães Souza. IV. Amoretty, Paulo Roberto de. 1. Título.

CDD: 574

Sumário

Transmissão da Vida

Introdução 7

Unidade 1

Texto base - DNA: a molécula da vida 13

Roteiro de ação 1 - Quem é o DNA? 15

Roteiro de ação 2 - Por dentro das células: cromossomo,
DNA e gene 35

Unidade 2

Texto base - Os desafios ao ensinarmos síntese proteica 43

Roteiro de ação 3 - Os desafios ao ensinarmos síntese
proteica 59

Unidade 3

Texto base - Controle da expressão gênica..... 75

Roteiro de ação 4 - Controle da expressão gênica 85

Unidade 4

Texto base - Vida é reprodução 93

Roteiro de ação 5 - Dividir é preciso! 109

Roteiro de ação 6 - Agora é a vez da meiose! 117

Roteiro de ação 7 - Origem da reprodução sexuada 125

Unidade 5

..... 139

Introdução

ALGUMAS PALAVRAS ANTES DE COMEÇAR!

A conversa na sala dos professores continua! Agora, assuntos dos mais instigantes no campo da Biologia estão em pauta: aqueles relacionados com a transmissão e a expressão dos genes. Cada professor tem a sua forma de abordar e desenvolver assuntos tão vastos quanto complexos. Assim, a troca de ideias vai ser intensa. Então, para “esquentar os tambores”, vamos começar com algumas perguntas instigantes para nós, professores de Biologia.

Como você costuma trabalhar a multiplicação do número de células por mitose ou meiose e a síntese proteica?

Quais são as atividades mais indicadas para construir os conceitos relacionados a esses assuntos, tais como a relação entre a molécula de DNA, o cromossomo e os genes?

Será mesmo necessário abordar com alunos da 1ª série todos aqueles detalhes bioquímicos da síntese proteica que encontramos em certos livros de Biologia?

Estamos lidando com um conteúdo “recheado” de fenômenos moleculares com alunos iniciantes no campo da Química. Como lidar com esse paradoxo?

Como lidar com o “bombardeio” de novos conteúdos relacionados às áreas de Biologia Molecular e Citologia presentes nos livros didáticos?

Como apresentar contextos mais atuais e próximos ao cotidiano dos alunos sobre a grande quantidade de informações que a Biologia traz sem tornar o processo de ensino-aprendizagem maçante?

Você pode parar e pensar: quais as melhores respostas para essas perguntas? Como me posicionar nessa reflexão frente aos meus estudantes e colegas? Descobriremos juntos essas respostas! Esperamos que ao final do curso você possa responder a elas por você mesmo! Durante todo o curso, convidamos você a compartilhar suas estratégias de trabalho, suas descobertas, seu conhecimento.

Ensinando Biologia de cima para baixo!

Porém antes de falarmos do conteúdo propriamente dito, vamos conversar um pouco sobre uma das possíveis abordagens para ensino de temas mais complexos da Biologia na Educação Básica.

Você já reparou que sempre quando visitamos um local desconhecido procuramos um local de onde podemos ter uma visão abrangente da paisagem? Não é à toa que mirantes são importantes atrativos turísticos! Quando as cidades não têm um mirante natural, geralmente seus habitantes criam um.



Figura 1: Exemplos de mirantes naturais e construídos pelo homem: vista da praia de Copacabana observada do Pão de Açúcar (à esquerda) e uma visão panorâmica de Paris à noite, da Torre Montparnasse.

Fontes: http://pt.wikipedia.org/wiki/Rio_de_Janeiro; <http://pt.wikipedia.org/wiki/Paris>

Por que será que nos cativa tanto termos uma visão geral de nossos arredores? Será que podemos aplicar essa analogia ao ensino de Biologia?

Veja o que pensa Edward Wilson, zoólogo americano com mais de 40 anos de experiência em cursos de graduação. Ele escreveu um livro sobre a importância da biodiversidade. No capítulo 14, ele elabora cinco princípios sobre como ensinar Biologia, mas vamos falar aqui somente do primeiro:

O primeiro princípio é **ensine de cima para baixo**.

Se alguma coisa eu aprendi em quatro décadas de experiência, é que a melhor maneira de transmitir conhecimentos e estimular o pensamento é ensinar cada matéria partindo do geral para o específico. Comece abordando uma questão ampla, do tipo que já é interessante para os alunos e relevante para a vida deles, e estão descasque as camadas causais, tais como compreendidas no momento, aumentando aos poucos os detalhes técnicos e filosoficamente polêmicos, a fim de ensinar e provocar. (...) Não ensine de baixo para cima, com uma introdução do tipo “Vamos aprender um pouco disso e também um pouco daquilo, e depois combinar esses conhecimentos para formar um quadro geral”. (...) Em vez disso, mostre o quadro inteiro o mais depressa possível; mostre qual o motivo de sua importância naquele momento durante toda a vida deles. Passe a dissecar esse conjunto e chegue finalmente aos alicerces.

Veja, por exemplo, o sexo. Não a anatomia e a prática do sexo, nem a fisiologia, a fertilidade ou o controle de natalidade. Em vez disso, pergunte: “Em primeiro lugar, por que existe sexo?”. “Como o biólogo vê esse assunto em contraste, digamos, com o filósofo, o teólogo ou o romancista?” “Por que as pessoas – as mulheres, para ser exato – simplesmente não praticam a partenogênese, cultivando embriões a partir de óvulos não fertilizados? Essa reprodução sem sexo é muito comum no reino animal”; “por que afinal, é preciso haver indivíduos machos e espermatozoides?”.

Será que é importante ter uma visão geral, que organize os saberes, antes de entrarmos nos detalhes do conhecimento?

Observe que o autor prefere começar a abordar o assunto a partir das causas últimas, ou seja, o porquê de as estruturas biológicas serem como são. Esse tipo de abordagem remete ao papel da evolução na origem e na disseminação das estruturas. Nossa experiência mostra que, apesar de nossos alunos estarem mais preocupados com as questões imediatas em relação ao sexo, que certamente não devem deixar de ser tratadas, a abordagem evolutiva estimula a aprendizagem.

Mas o que isso tem a ver com estudar a “Transmissão da vida”?

Em se tratando do campo conceitual “Transmissão da vida”, o currículo básico nos coloca novamente diante do desafio de integrar diferentes fenômenos em distintos níveis de organização da vida: da molécula de DNA aos processos patológicos no plano de células e tecidos, passando pela estrutura dos cromossomos e definições de genes. Além disso, teremos de nos aprofundar no mundo abstrato dos ácidos nucleicos, proteínas e suas interações, que garantem a manutenção e a transmissão da vida. Dessa forma, continuaremos a tratar de fenômenos moleculares com alunos que estão ainda no início dos seus estudos de Química.

E o que dizer dos desafios mais específicos, como as concepções alternativas dos estudantes a respeito dos conceitos de estrutura e número de cromossomos, assim como célula haploide ou diploide, fertilização, alelos, relação gene/cromossomo e a finalidade dos processos de mitose e de meiose? Apesar de especialistas do mundo inteiro já terem identificado as dificuldades de aprendizagem desses tópicos, ainda não sabemos bem ao certo por que os alunos resistem tanto a mudar seus modelos conceituais quando estamos falando de aspectos mais abstratos. Todos esses conceitos são de difícil assimilação e novas formas de ensiná-los ainda são necessárias! Reconhecer as dificuldades dos estudantes em temas mais complexos da Biologia é de extrema importância para que sejamos mais cautelosos ao ensinar esses temas sem, contudo, estagnar por conta disso.

Para tentar superar esses problemas, sugerimos aos professores buscar recursos educacionais que deixem o conteúdo menos abstrato, trabalhando o ensino da Biologia de “cima para baixo”. O professor pode utilizar o apoio de vídeos, animações e modelos concretos – por exemplo, massa de mode-

lar e papel – para facilitar a visualização dos fenômenos de duplicação do DNA, divisão celular, transcrição e tradução. Durante o curso apresentaremos sugestões de recursos didáticos com esse foco.

Valemo-nos também de experiências clássicas para estudar a molécula de DNA e o controle da expressão gênica. Além de privilegiar fatos históricos relativamente recentes que podem interessar ao aluno, essa abordagem permite que o aluno vivencie em parte a construção do conhecimento científico. Nosso objetivo é estimular o raciocínio dos alunos para compreender alguns aspectos dessa intrincada molécula e do não menos complexo período da ciência marcado pelo entendimento de sua estrutura.

Temos que estar cientes também de que ensinar a “Transmissão da vida” na Educação Básica envolve a necessidade de constante atualização sobre os avanços acadêmicos, que ocorrem de forma muito rápida. Os livros didáticos acompanham de perto os avanços da Biologia Molecular e da Citogenética, mais do que em outras áreas da Biologia; é preciso que o professor esteja sempre atualizado quanto às recentes descobertas. Não pretendemos discutir as causas desse fenômeno, mas isso tem levado o ensino dessa parte da Biologia a detalhes bioquímicos e moleculares que certamente dificultam a aprendizagem de estudantes que acabaram de entrar no Ensino Médio. E que alternativa temos a isso?

Várias, mas sugerimos aqui **foco na seleção dos conteúdos**. Nesse sentido, deixamos propositalmente de fora deste curso certos detalhes bioquímicos da molécula de DNA e proteínas e valorizamos apenas os aspectos necessários à compreensão desses fenômenos no nível citológico, com o objetivo de estimular a aprendizagem. Valorizamos os contextos evolutivos que explicam a origem dos processos estudados, pois acreditamos que dessa forma fica mais fácil dar sentido à grande quantidade de informações que a Biologia traz para o cotidiano dos alunos.

Por outro lado, insistimos em abordar a expressão gênica com o objetivo de mostrar mais claramente que as características de um ser vivo não são determinadas exclusivamente pelos genes. Tais entidades, cada vez mais difíceis de ser definidas, além de produzir proteínas, podem ser vistas como verdadeiros intérpretes das variações do ambiente com as quais os organismos têm de conviver. Essa é uma visão do material genético que julgamos importante que um aluno do Ensino Médio possa compreender, de forma a torná-lo apto a lidar com alguns dos avanços biotecnológicos mais recentes.

No que tange à reprodução sexuada, seguimos com o enfoque evolutivo. Tentamos seguir os conselhos de Edward Wilson, de apresentar uma visão geral antes de entrar nos detalhes do conhecimento, valorizando as perguntas mais gerais que estão por trás das grandes tendências evolutivas da história da vida na Terra.

Convidaremos, portanto, você, professor, a contribuir o tempo todo com sua experiência e sua criatividade para construir e avaliar as experiências de ensino que auxiliem no aprendizado desses temas da Biologia. No entanto, para que suas experiências possam ser transmitidas (já que estamos falando em transmissão da vida), é fundamental compartilhá-las. Essa é a intenção das diversas atividades colaborativas deste curso.

Pronto para enfrentar esse desafio junto conosco e com seus colegas? Então esteja aberto para ensinar e aprender com cursistas e tutores e mergulhe em mais essa nova experiência de formação continuada de professores em formato de comunidade de prática, em que colaboração e compartilhamento serão os elementos chave para nosso sucesso juntos!

Unidade 1

DNA: A MOLÉCULA DA VIDA

O DNA é a molécula da vida. Toda célula contém DNA, a molécula responsável por sua estrutura e função. Essas frases simples, que qualquer leigo aceita e, às vezes, entende, mudaram o curso da Biologia, da Medicina e da sociedade. Como sempre, na ciência, a construção desses conceitos não ocorreu de uma hora para outra. Ao contrário, foram muitas idas e vindas antes da famosa fotografia de Watson e Crick diante do modelo da dupla hélice em 1953. Neste texto base, vamos contar essa história, enfocando especialmente as experiências-chaves que levaram o DNA a ter o status que ele tem hoje diante de sua hospedeira, a célula.

Mais recentemente, os professores e pesquisadores da área de ensino têm defendido o uso da história da ciência como forma de facilitar o aprendizado dos conteúdos escolares das disciplinas científicas. Você concorda que essa é uma boa estratégia? Há algum limite, ou critério que deveria ser levado em consideração para se recomendar essa estratégia?

A molécula de DNA foi purificada pela primeira vez pelo biólogo suíço Friedrich Miescher (1844-1895), em 1868. Miescher chamou essa substância de nucleína. O termo ácido nucleico foi dado por seu aluno, Robert Altmann em 1889. Nesse período, Walther Flemming (1843-1905), que já havia observado cromossomos durante a mitose, sugeriu que o DNA teria papel na transferência da hereditariedade. Muito tempo decorreu até que essa ideia fosse aceita. De fato, considera-se a experiência realizada, em 1952, por Alfred Hershey (1908-1997) e Martha Chase (1927-2003) o marco definitivo da aceitação da ideia do DNA como portador da informação genética pela comunidade científica. Por que tanto tempo? Digamos que a culpa é da própria estrutura do DNA e também de certa teimosia da comunidade científica diante de seus próprios resultados.

A estrutura do DNA, como você sabe, é muito monótona: essa molécula é formada por duas cadeias de apenas quatro tipos diferentes de nucleotídeos. Por causa disso, acreditava-se que uma molécula com pouca variação jamais poderia ser a responsável pela quantidade de informação de que uma célula precisava. As melhores candidatas a esse papel eram as proteínas. Elas foram descobertas 30 anos antes dos ácidos nucleicos e apresentavam muito mais variação, pois eram compostas por 20 aminoácidos.

É interessante notar que as leis de herança biológica, ou seja, como os genes eram transmitidos para a geração seguinte foram se desenvolvendo antes do reconhecimento oficial das propriedades genéticas do DNA. Mendel publicou seus dados com ervilhas em 1865 e atribuiu seus resultados a “unidades” discretas que se segregavam independentemente. Seu trabalho, a princípio ignorado, foi retomado por Hugo de Vries, em 1900, que estabeleceu as primeiras leis da hereditariedade. As unidades hereditárias de Mendel foram rebatizadas de genes em 1909, por Wilhelm Johannsen (1857-1927). Thomas Morgan, em 1911, afirmou que os genes estariam arranjados nos cromossomos (literalmente, corpos que pegam cor). Em 1941, estudando o fungo *Neurospora*, Beadle e Tatum chegaram à definição de que um gene era responsável pela produção de uma enzima.

Apesar de todos esses avanços, ninguém ainda tinha atinado que os ácidos nucleicos eram a matéria prima dos genes! Para os pesquisadores da época, os genes deveriam ser feitos de proteína, cuja variação seria suficiente para guardar toda a informação genética de que a célula precisava.

A próxima sequência de experiências ilustra a dificuldade da comunidade científica em se desfazer da noção de proteínas como material genético. Em 1928, Frederick Griffith inoculou camundongos com diferentes cepas de bactérias causadoras de pneumonia (*pneumococcus*).

Uma cepa, cuja sigla era S (*smooth*, em inglês) devido à aparência lisa da colônia bacteriana, era virulenta e matava os camundongos. A cepa R (para *rough*) não era virulenta e os camundongos inoculados com ela não morriam.

Nesse conjunto de experimentos, outras inoculações nos camundongos foram feitas com:

- uma solução previamente aquecida e morta de bactérias S, resultando na sobrevivência dos mesmos;
- uma mistura de cepa S previamente aquecida e morta juntamente a uma solução de cepa R viva, resultando na morte dos animais (veja figura 1).

No sangue dos ratos mortos nessa última experiência, Griffith encontrou bactérias S vivas. Isso o levou a caracterizar a transformação bacteriana: uma bactéria pode absorver do meio uma substância de outra capaz de transformar suas características. Em outras palavras, as bactérias R absorveram alguma substância das bactérias S mortas que as deixou virulentas. Griffith, no entanto, não sabia qual era a substância responsável por esse “princípio transformante”.

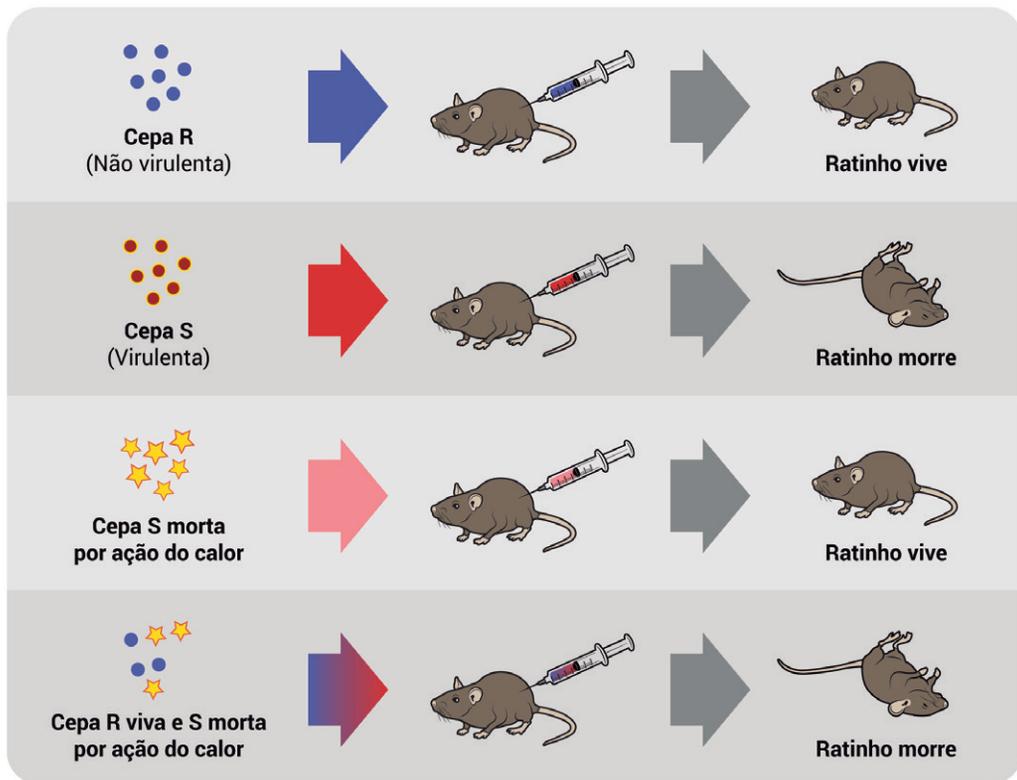


Figura 1. Experiências de Frederick Griffith.

Em 1944, Oswald Avery (1877-1955) e seus colegas Colin MacLeod (1909- 1972) e Maclyn McCarty (1911-2005) retomaram a experiência de Griffith. Eles colocaram as bactérias S mortas pelo calor juntamente a diferentes enzimas, cada qual em um tubo de ensaio separado, que degradavam um dos componentes bioquímicos bacterianos, ou seja, lipídeos, proteínas, carboidratos, RNA e DNA (figura 2). Em seguida, juntaram esse material a bactérias R (não virulentas) vivas.

Bactérias virulentas foram encontradas em todos os extratos menos naquele tratado com enzimas que degradam o DNA (DNAases). Ou seja, o princípio transformante era o DNA, mas isso ainda não seria suficiente para convencer a maioria dos cientistas. Eles alegavam que poderia haver contaminação de proteínas nos extratos tratados com as proteases.

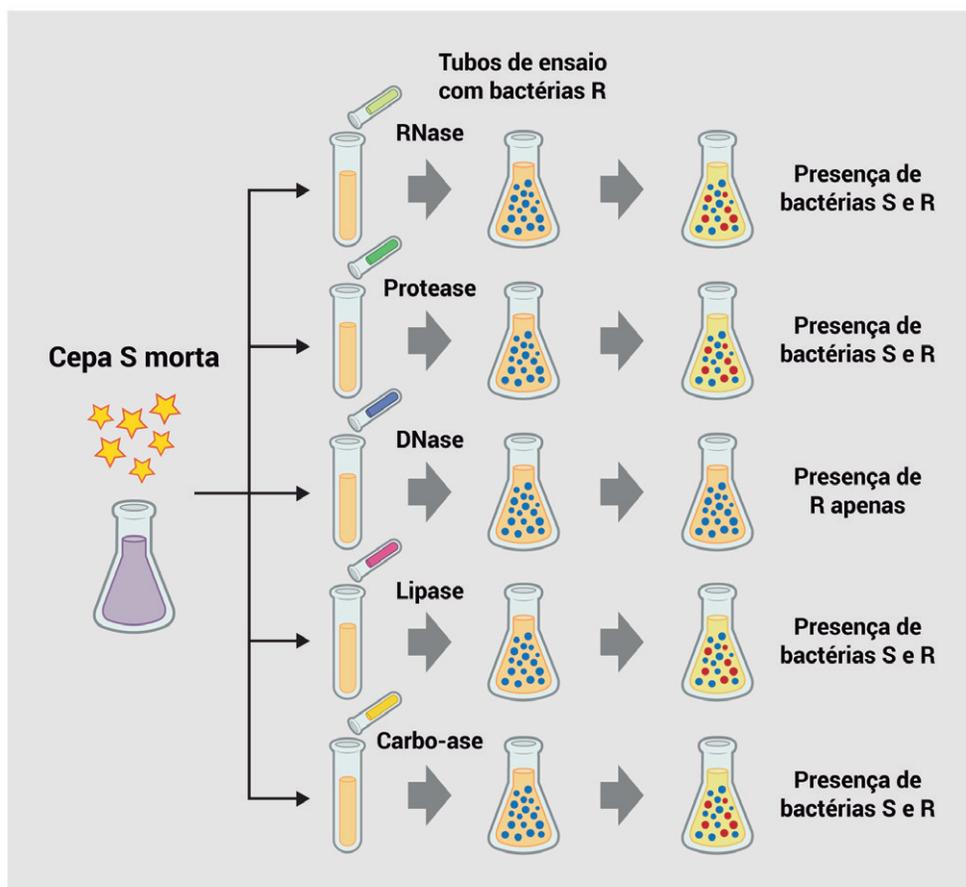


Figura 2. Conjunto de experiências realizadas por Oswald Avery, Colin MacLeod e Maclyn McCarty.

Nos anos seguintes, novas evidências sugeriram que os núcleos haploides de pólen e espermatozoides continham metade do DNA das células somáticas de suas respectivas espécies. Esses dados, somados à relação já conhecida entre genes e cromossomos, reforçaram a ligação entre DNA e hereditariedade.

Mas apenas em 1952, extratos reconhecidamente sem proteínas (com apenas 0,02% dessa substância) foram obtidos e os resultados de Avery, MacLeod e McCarty foram repetidos.

Nesse mesmo ano, Alfred Hershey e Martha Chase conseguiram marcar as proteínas das cápsulas virais de bacteriófago com enxofre radioativo (^{35}S) e seus respectivos DNA com fósforo radioativo (^{32}P). Já havia sido sugerido que fagos deste tipo injetavam na célula hospedeira um princípio transformante. Para melhor entendimento deste experimento é importante lembrar o ciclo reprodutivo lítico de um bacteriófago (Figura 2) que quando adicionado a uma cultura de bactéria, introduz seus componentes internos na bactéria e utiliza o maquinário desta para produção de inúmeras cópias de partículas virais (contendo DNA e proteína) no interior da célula bacteriana. O cromossomo da célula

hospedeira é, então, degradado e ocorre a lise celular aproximadamente 20 minutos após a infecção, havendo liberação de um grande número de novas partículas virais.

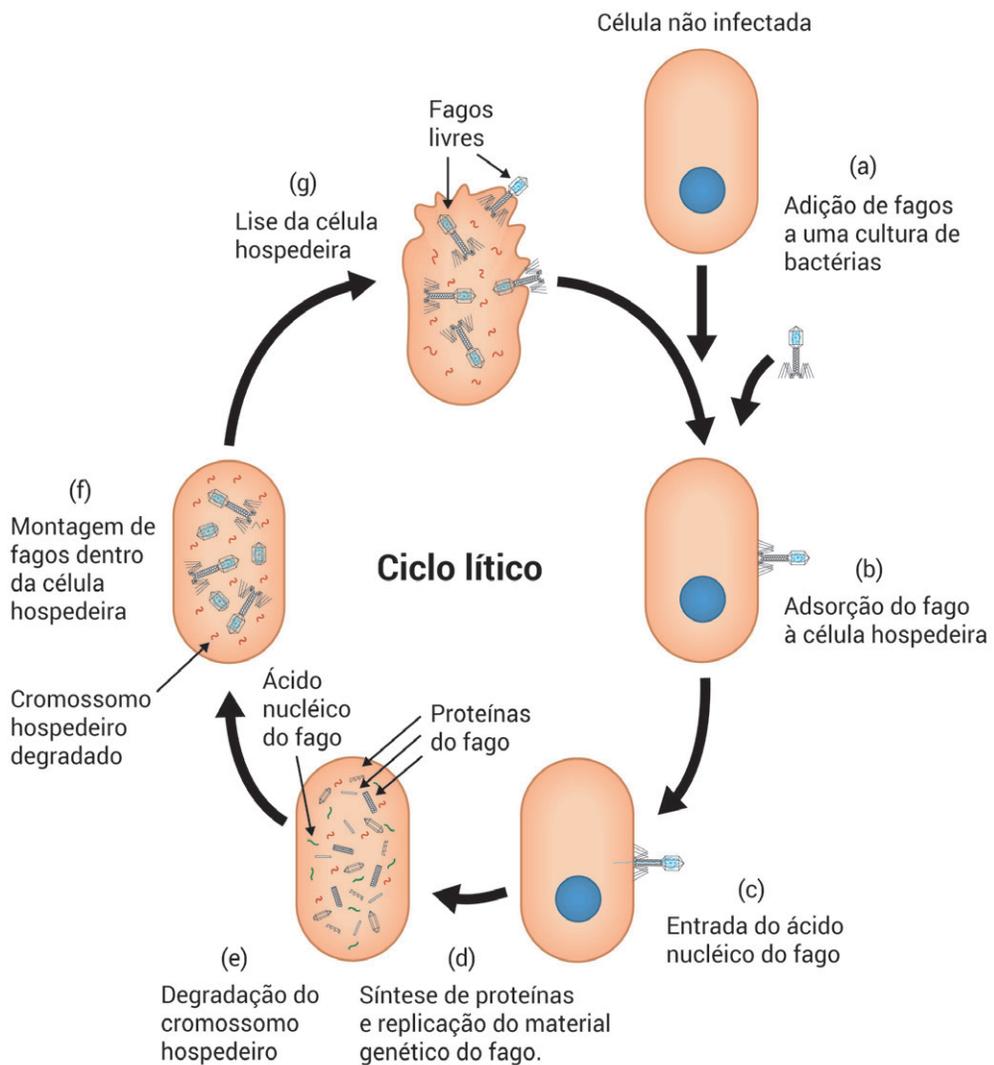


Figura 3. O ciclo lítico de um bacteriófago. Garcia, A. B. (2007). biologia molecular Módulo 1, v.1 - rio de Janeiro: Ed. Fundação CECIERJ.

Bactérias incubadas com vírus cujas cápsulas proteicas estavam marcadas não produziam vírus radioativos. A radioatividade era encontrada apenas no sobrenadante onde se encontravam as cápsulas. Por outro lado, bactérias incubadas com vírus cujo DNA era radioativo apresentavam radioatividade e liberavam vírus radioativos em seguida. Portanto, a replicação viral dependia apenas do DNA que estava no interior das bactérias e não das proteínas que estavam na cápsula.

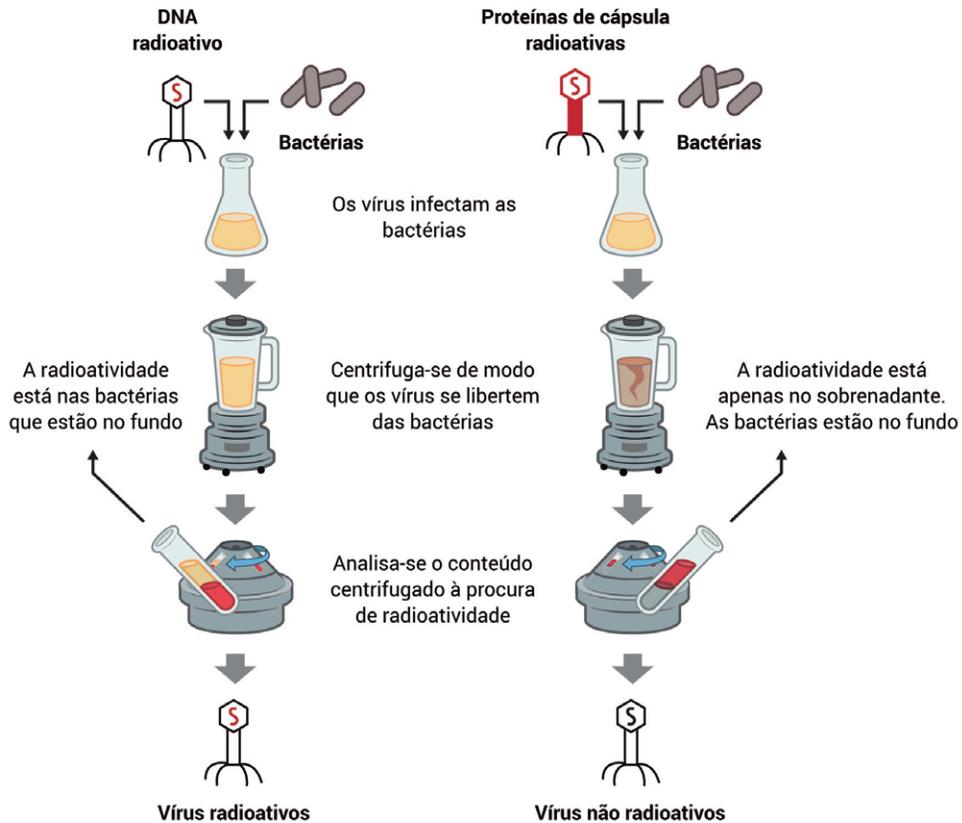


Figura 4. Esquema da experiência de Hershey e Chase.

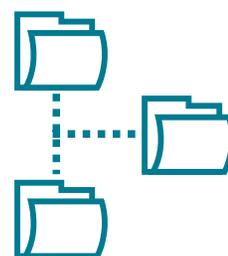
Com esse resultado, a comunidade científica deu-se por vencida pelas evidências de que o DNA era a molécula responsável pela informação genética. Ainda faltava conhecer a estrutura do DNA, como ocorria a sua duplicação e como os genes interferiam no metabolismo celular.

A estrutura do DNA já vinha sendo estudada. Três anos antes de Watson e Crick, Erwin Chargaff havia isolado DNA de diferentes tecidos e verificado que as quantidades relativas das quatro bases nitrogenadas – Adenina, Timina, Citosina e Guanina – variavam entre as espécies, mas não variavam entre tecidos da mesma espécie, nem com a idade e estado nutricional das células e nem com mudanças ambientais. Sua observação mais relevante, no entanto, foi a de que, em todos os DNA celulares, as proporções de adenina e timina e citosina e guanina se mantinham constantes ($A=T$ e $C=G$).

Roteiro de Ação 1

Quem é o DNA?

Nesse estudo dirigido o aluno é levado a interpretar as principais experiências que levaram ao reconhecimento da importância do núcleo e do DNA no controle do metabolismo celular. A estrutura do DNA também é apresentada através de experiências.



Sugestões para o professor

Você já deve ter ouvido falar em Salman Khan. É o americano, cujo site tem aulas sobre inúmeros assuntos e já foi capa da revista *Veja* que o apresentou como o melhor professor do mundo.

As aulas dele são expositivas sobre um quadro negro virtual com lápis coloridos; nada muito diferente do que fazemos. Já há aulas de Salman Khan traduzidas no youtube. Aquela que fala sobre estrutura do DNA, transcrição e tradução é interessante (<http://www.youtube.com/watch?v=hmNqQMIOOfc>), especialmente por que ele se preocupa apenas com os aspectos mais relevantes (não trata do sentido 5' → 3', por exemplo). A outra vantagem que vemos nas aulas dele é que se o aluno, em casa, se dispõe a assistir seus vídeos, ele pode estar mais concentrado diante da tela do computador do que em sala de aula. Além disso, se ele assiste aos vídeos **depois** de ver nossas aulas, o conteúdo é mais facilmente aprendido.

Portanto, indicar ou projetar alguma aula da Khan Academy pode ser interessante. O site da Fundação Lemann possui alguns dos vídeos da Khan Academy em português (<http://www.fundacaoemann.org.br/khan-academy/>).

Ao final, em 1953, James Watson e Francis Crick ganharam a maior parte da fama por terem publicado o modelo de DNA em um artigo na revista *Nature*. Gostaríamos apenas de lembrar aqui

que a purificação de extratos de DNA e os estudos de difração de raios X, realizados em 1951, por Rosalind Franklin (1920-1958), no laboratório de Maurice Wilkins, foram fundamentais para o sucesso de Watson e Crick.

A fama de Watson e Crick também se deve à proposta de duplicação semiconservativa do DNA, explicitada no final do artigo que descreve o modelo de dupla hélice. Esse modelo foi testado em 1957 por Meselson e Stahl contra a hipótese alternativa que afirmava que o DNA poderia se duplicar de forma conservativa: as duas cadeias da molécula original manter-se-iam unidas, enquanto as duas cadeias novas de nucleotídeos formariam novas pontes de hidrogênio entre si, formando uma cadeia inteiramente nova.



A década de 50 marca o início de uma história que reuniria o trabalho de, pelo menos, nove cientistas. Você pode se aprofundar sobre esse período no texto de Otavio Henrique Thiemann, disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc17/17-a04.pdf>

Com o objetivo de testar essas hipóteses, Meselson e Stahl criaram bactérias em um meio contendo o isótopo de nitrogênio pesado, ^{15}N , de forma que o DNA dessas células passou a ter um peso maior, pois suas bases nitrogenadas seriam formadas, agora, por ^{15}N . Essas bactérias foram, então, incubadas em um meio com ^{14}N e lá se multiplicaram. Se a duplicação semiconservativa estivesse correta, após a primeira divisão celular, todas as novas moléculas de DNA deveriam ter um peso intermediário entre o DNA formado apenas por ^{15}N e aquele formado por ^{14}N . Por quê? Cada molécula nova de DNA seria formada por uma cadeia de nucleotídeos com bases nitrogenadas contendo ^{15}N (a cadeia da molécula original) e outra cadeia nova formada pelos nucleotídeos mais leves do meio contendo ^{14}N . Por outro lado, se a duplicação fosse conservativa, metade das moléculas de DNA seriam pesadas como as originais, formadas por duas cadeias contendo ^{15}N , e a outra metade seria leve, formada por duas cadeias contendo ^{14}N . As moléculas de DNA pesadas, leves e intermediárias são separadas por centrifugação e, de acordo com seu peso, ocupam posições mais acima (as leves) ou mais abaixo (as pesadas) no tubo de ensaio que contem a solução (figura 4).

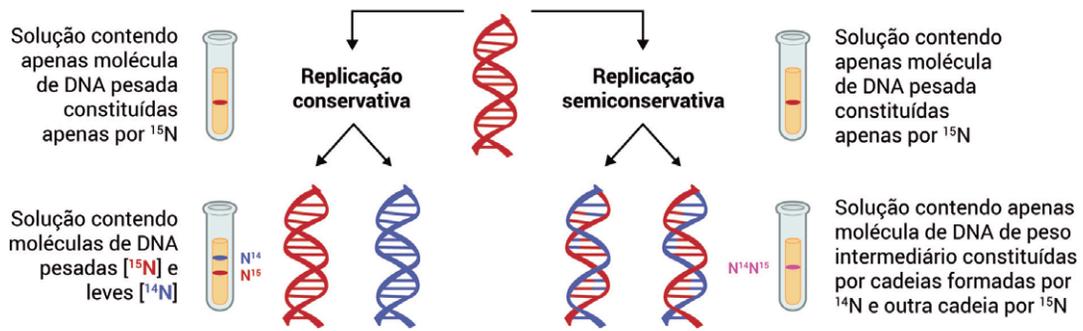


Figura 5. Esquema da experiência de Meselson e Stahl.

Os resultados de Meselson e Stahl indicaram que o modelo previsto por Watson e Crick estava certo e, a partir daí, as pesquisas sobre os erros de duplicação do DNA ganharam impulso. Ou seja, estava aberto o caminho para a compreensão das mutações. E aqui, mais uma vez, o caminho da ciência se mostra tortuoso. A comunidade científica já conhecia e manipulava mutações muito antes da estrutura do DNA. Os estudos de herança mendeliana de De Vrie, Morgan e seus discípulos partiam de fenótipos mutantes criados pela emissão de raios X sobre as moscas *Drosophila*. Os cruzamentos eram feitos e os resultados analisados segundo os modelos mendelianos. Dessa forma, sem saber se o gene era feito de DNA ou proteína nem a natureza das mutações, muitos avanços, como a noção de genes ligados, a distância entre eles (em morganídeos) e o efeito da permutação (*crossing over*), ocorreram.

Já se conheciam também os efeitos deletérios das mutações. Mas a identificação do DNA como material genético, de sua estrutura e a compreensão dos fenômenos de transcrição e tradução foram fundamentais para a identificação de alelos mutantes específicos e seus efeitos em uma série de doenças hereditárias. Sem essas descobertas da ciência básica, seria impensável qualquer tipo de terapia gênica, ou uso de organismos geneticamente modificados capazes de baratear os custos da produção de insulina e da eritropoetina humana, entre outros.

Evitamos a abordagem didática da duplicação do DNA por meio do trabalho de Meselson e Stahl devido à complexidade da experiência. Sugerimos a você que, inicialmente, relacione a duplicação do DNA à divisão celular. Se uma célula desse origem a duas sem duplicar seu DNA, as células filhas ficariam com metade do material genético a cada geração. Em seguida, você pode projetar animações sobre o assunto, disponíveis no Youtube.



Em http://www.youtube.com/watch?v=NMObWWt_ycr só é preciso passar os 3 primeiros minutos. Se você julgar relevante aprofundar o estudo nos detalhes moleculares, siga com a projeção.

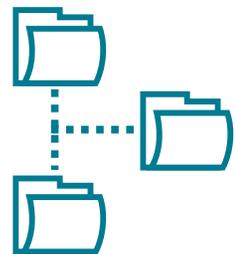
Em <https://www.youtube.com/watch?v=DjNGgte52II> você encontra uma animação da duplicação semi-conservativa.

O vídeo disponível em <http://www.youtube.com/watch?v=GdaSIVHIZkl> traz uma animação narrada por Carl Sagan. Ela tem a vantagem de mostrar o DNA no contexto da célula eucariota, mas não esclarece que a duplicação acontece antes da célula se dividir.

Roteiro de Ação 2

Por dentro das células: cromossomo, DNA e gene

Nesse Roteiro de ação propomos um estudo dirigido com uso de imagens que tem como objetivo dar a oportunidade aos estudantes de se familiarizar com conceitos importantes para o estudo do núcleo da célula: cromossomo, gene e DNA, sem qualquer preparação anterior. Uma ótima atividade de início de bimestre.



Roteiro de Ação 1

Quem é o DNA?

Duração prevista: 100 minutos.

Área de conhecimento: Biologia

Assuntos: estrutura do DNA.

Objetivos: apresentar e discutir os resultados das experiências clássicas que levaram a elucidação da estrutura do DNA.

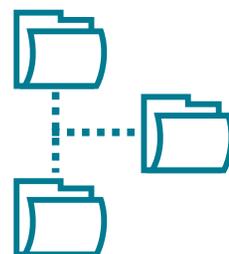
Material necessário: Roteiro impresso

Organização da classe: em duplas.

Descritores associados:

H13 – Reconhecer mecanismos de transmissão da vida, prevendo ou explicando a manifestação de características dos seres vivos.

H17 – Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.



Esse roteiro de ação foi inspirado no trabalho do professor Maurício Luz, do Instituto Oswaldo Cruz do Rio de Janeiro. Seu formato é o de um estudo dirigido e tem por objetivo permitir que os alunos discutam os resultados das principais experiências que levaram a elucidação da estrutura da molécula de DNA. Essa estratégia permite que o aluno tenha contato com alguns procedimentos típicos das ciências naturais.

Quem é o DNA?

Hoje, sabe-se que o DNA é a molécula da vida. Ela contém as informações necessárias para o funcionamento da célula. Você já deve ter visto isso na televisão ou no jornal. Se você ainda tem dúvida, observe a experiência abaixo, feita em 1920, por Joachim Hämmerling. Ele trabalhou com uma alga unicelular chamada cientificamente de *Acetabularia*. Ela mede dois centímetros, tem o formato de haste com um chapéu na extremidade superior. Seu núcleo, onde fica guardado o DNA, fica na base da haste. Mesmo sendo pequena, era suficiente para o Joachim fazer suas experiências. Ele cortou a alga em três pedaços e verificou que apenas o pedaço com núcleo foi capaz de regenerar a alga toda. As outras partes morriam.

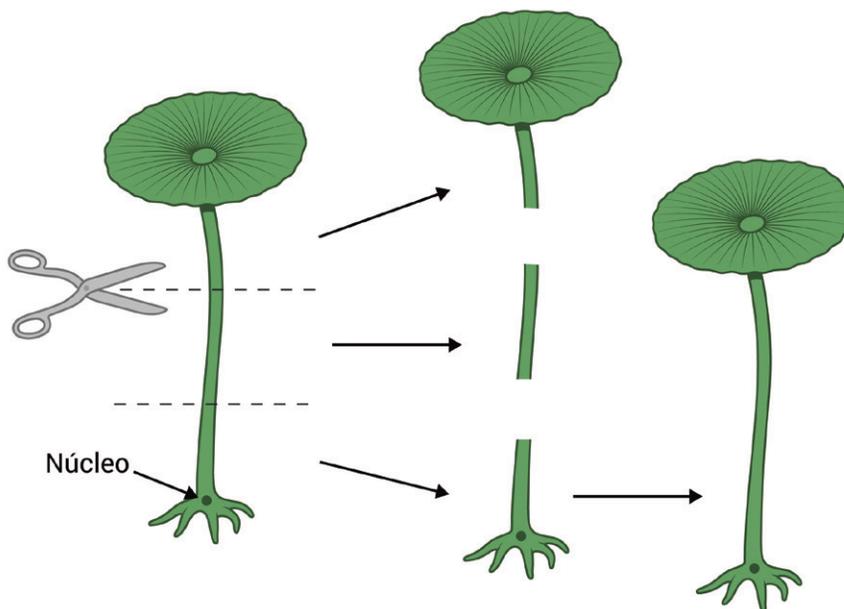


Figura 1. Experiência de Joaquim Hämmerling.

1. A que conclusões você chega sobre o papel do núcleo para o funcionamento celular?

Essa experiência tem por objetivo começarmos a aproximar o aluno das funções do núcleo e, em seguida, do DNA. Esperamos que ele responda que o núcleo é fundamental para o funcionamento celular. Na realidade, a experiência de Joachim Hämmerling mostra que o pedaço do meio também regenera a parte superior da alga (o chapéu ou umbrela), mas é incapaz de regenerar a alga inteira. Isso se deve a presença de RNA no citoplasma. Mas acreditamos que seja melhor evitar esse nível de complicação.

{ RESPOSTA COMENTADA }

Mas você deve estar pensando: essa experiência não diz nada a respeito do papel do DNA. É verdade, você tem razão. Desde o século XIX sabemos que o núcleo é composto de proteína e DNA. A experiência de Joachim Hämmerling não permite identificar qual dessas substâncias foi a responsável pela regeneração da célula! Vamos prosseguir na nossa viagem pela Biologia do século XX.

Em 1928, Frederick Griffith fez a seguinte experiência. Ele trabalhou com um tipo de bactéria que causava pneumonia em ratos. Essa espécie de bactéria possui duas variedades (cepas): a “S” e a “R”. A S, de aparência lisa, era capaz de matar os ratos que eram inoculados com ela, mas a cepa R, de aparência rugosa, não.

Quando ele injetava nos ratos uma mistura de bactérias S mortas pelo calor com bactérias R vivas, eles morriam (veja a figura 2). Ele concluiu que havia um “princípio transformante”, uma substância que era transmitida das bactérias S para as R que passavam a matar os ratos.

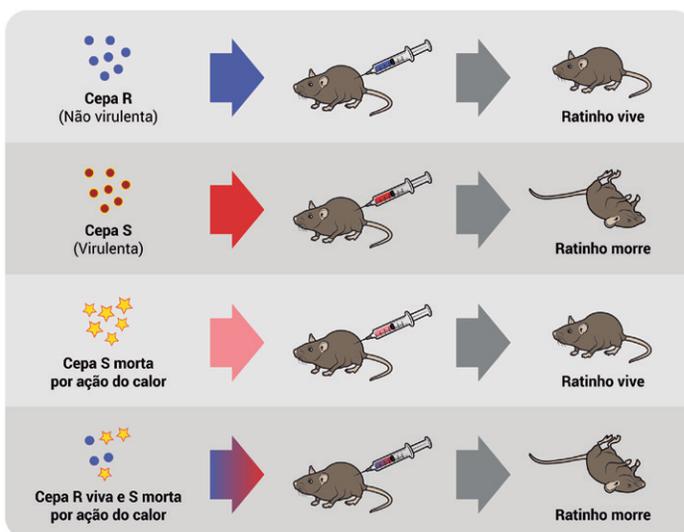


Figura 2. Experiência de Frederick Griffith.

Ainda não chegamos no DNA, mas 16 anos depois, três pesquisadores, Oswald Avery, Colin MacLeod e Maclyn McCarty bolaram uma experiência com o objetivo de tentar descobrir que substância seria a responsável pela transformação de bactérias S em R, observada por Griffith. Eles separaram as substâncias orgânicas que compunham as células das bactérias S em diferentes tubos de ensaio e misturaram a cada uma dessas substâncias, separadamente, células de bactéria R.

No esquema a seguir está representada essa experiência. Analise os resultados com atenção. Repare que as bactérias R se transforma em S apenas quando em contato com o DNA.

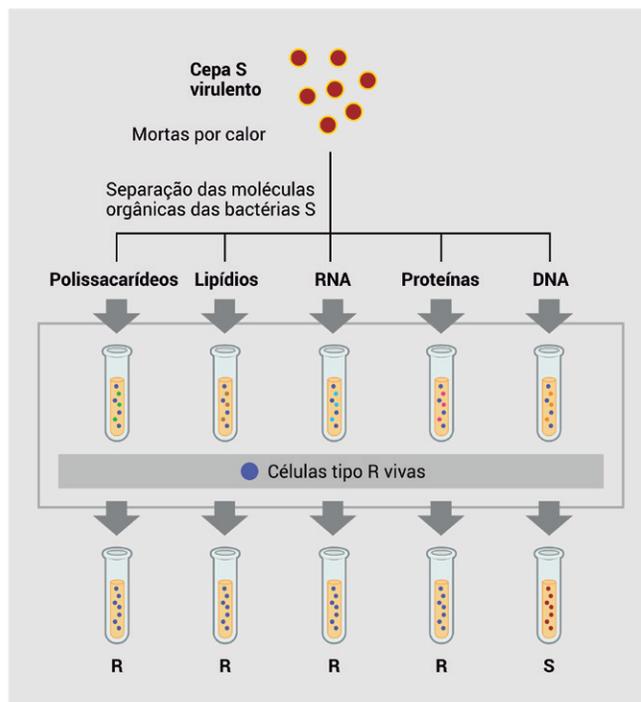


Figura 3. Esquema da experiência de Avery, MacLeod e Maclyn McCarty.

2. Com os resultados da experiência realizada por Avery, MacLeod e Maclyn McCarty, qual deveria ser o princípio transformante? Justifique sua resposta.

Nossa experiência mostra que os alunos concluem sem muita dificuldade que o DNA seria a molécula responsável pela transformação de bactérias S em R. Compare o esquema dessa experiência com o que apresentamos a você no texto-base. Aqui fizemos uma modificação para tornar mais fácil sua compreensão.

{ RESPOSTA COMENTADA }

Mesmo com a experiência bem-sucedida de Avery, MacLeod e Maclyn McCarty, a comunidade científica ainda achava que as proteínas eram as substâncias responsáveis pelo funcionamento da célula. Essa opinião era dominante porque as proteínas são moléculas que apresentam mais variação do que o RNA e o DNA. Apenas oito anos depois e mais algumas experiências, o DNA passou a ser visto como a substância responsável pelo metabolismo celular (conjunto de reações químicas da célula).

Mas como o DNA controla a célula? A resposta mais simples é: produzindo proteínas. Mas como um DNA, ao produzir proteínas, pode controlar a célula? Se você está incomodado com tantas perguntas, é melhor ir se acostumando, pois a Biologia e as demais ciências vivem de perguntas bem feitas: elas são a alma do conhecimento científico! Graças a elas, o conhecimento sobre o mundo aumenta. Se, hoje, uma pessoa pode ter acesso à insulina barata para tratar diabetes é porque alguém se interessou em saber do que é feito o DNA e as proteínas e como eles controlam o funcionamento das células.

Vamos conhecer mais algumas experiências importantes que levaram ao modelo de dupla hélice do DNA. Se você não sabe o que é “dupla hélice do DNA” não se preocupe, no final desse roteiro você vai saber.

Sabia-se, desde as primeiras décadas do século XX, que o DNA era um uma sequência) de nucleotídeos ligados uns aos outros, como um colar de contas. Cada nucleotídeo é composto por um carboidrato (desoxirribose) e um grupamento fosfato. A eles está ligada outra molécula, chamada de base nitrogenada, pois contém átomos de nitrogênio. No DNA pode haver quatro tipos de base nitrogenada. Logo, pode haver quatro tipos de nucleotídeos diferentes. Veja as figuras 4 e 5.

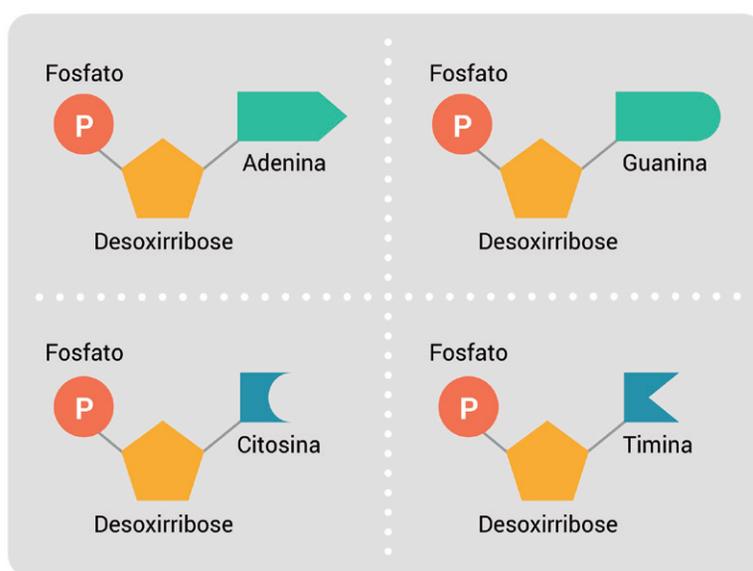


Figura 4. Os quatro tipos diferentes de nucleotídeos de DNA. (P) representa um fosfato. Adenina, Citosina, Guanina e Timina são as bases nitrogenadas.

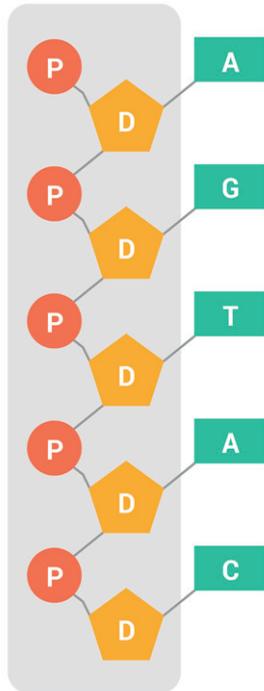


Figura 5. Um polímero de nucleotídeo. Observe que o fosfato de um nucleotídeo se liga a uma desoxirribose de outro nucleotídeo. As letras A, T, C e G representam as bases nitrogenadas.

Cada um dos quatro nucleotídeos é identificado pela base nitrogenada que o compõe, já que é esta parte do nucleotídeo que os diferencia entre si. Sendo assim, as quatro bases nitrogenadas são denominadas: Adenina (A), Timina (T), Guanina (G) e Citosina (C). **Mas, como essas bases estão organizadas? Em outras palavras, que tipo de sequência elas formam?**

Supunha-se até a primeira metade do século XX, que a molécula de DNA era formada por sequências de quatro nucleotídeos que se repetiriam. Por exemplo, a sequência ATCG poderia repetir-se várias vezes (ATCGATCG...). Ou em termos mais precisos, um nucleotídeo contendo uma Adenina ligava-se a outro contendo uma Timina, que por sua vez ligava-se a um contendo uma Citosina, até que aquele contendo a Guanina ligava-se a outra Adenina, e a sequência recomeçava. Por esse raciocínio, o DNA seria formado por sequências ATCG, ou de outras, que também se repetiriam (AATTCCGG ou ACGT). Na verdade, moléculas formadas por sequências repetitivas são relativamente comuns em seres vivos (amido e glicogênio, por exemplo). Daqui em diante, porém, vamos simplificar a discussão trabalhando apenas com a hipótese do DNA ser composto pela sequência ATCG.

Em 1950 Erwin Chargaff, favorável à ideia do DNA como material genético, realizou experiências para testar a hipótese do DNA ser formado por sequências repetidas. Chargaff obteve DNA de diversos seres vivos: vírus, diversos tipos de bactérias (procariontes) e células eucariotas, desde fungos e peixes até células humanas. Em seguida, determinou quimicamente a quantidade de cada uma

das bases no DNA destes seres vivos. Posteriormente, calculou a proporção das diferentes bases (ou nucleotídeos) existentes em cada uma destas moléculas. Ou seja, determinou qual a percentagem de A, T, C e G em cada amostra de DNA.

3. Supondo-se que o DNA fosse realmente composto de repetições da sequência ATCG, qual deveria ser a percentagem de cada uma das bases nitrogenadas no DNA total? Explique.

Nossa intenção aqui é estimular o aluno a vivenciar uma pequena fração do trabalho científico que, em muitos casos, exige ferramentas matemáticas. Normalmente, o cálculo percentual já foi aprendido no ensino fundamental. Se eles encontrarem dificuldades nessa parte, sua ajuda será importante.

Se o DNA fosse composto de sequências ATCG repetidas, a proporção das bases nitrogenadas seria de 1:1:1:1, ou seja, 25% para cada uma.

{ RESPOSTA COMENTADA }

Os resultados obtidos por Chargaff estão resumidos na tabela 1. Muitos valores foram aproximados para obtermos percentagens em valores inteiros.

Tabela 1: proporções, em percentagem (%) das diferentes bases de DNA de diversas fontes.

Organismo	Adenina	Timina	Guanina	Citosina
E. coli (bact)	25	25	25	25
D. pneumoniae (bac)	31	31	18	18
M. tuberculosis (bac)	15	15	35	35
Levedura (fungo-euc)	33	33	17	17
Ouriço do mar (espermatozóide)	32	32	18	18
Arenque (espermatozóide)	28	28	22	22
Rato (medula óssea)	29	29	21	21
Homem (timo)	30	30	20	20

4. Os resultados obtidos por Chargaff confirmam a hipótese de que o DNA é formado por sequências ATCG repetidas? Por quê?

O foco nessa e nas próximas questões é desenvolver a interpretação de resultados. Se o aluno entendeu bem a questão anterior, ele percebe facilmente que os dados não confirmam a hipótese das sequências ATCG repetidas, pois todas as espécies estudadas, com exceção da bactéria *E. coli*, não apresentam 25% para cada base nitrogenada.

Chargaff não apenas analisou a composição química do DNA, mas também estabeleceu as proporções entre seus diversos componentes, conforme sugerido pela tabela 2. Em resumo, ele procurava alguma relação constante entre as quatro bases componentes do DNA, para tentar obter informações mais detalhadas sobre sua estrutura. A seguir, você realizará alguns passos do trabalho de Chargaff.

{ RESPOSTA COMENTADA }

5. Calcule as proporções, para cada uma das amostras da tabela 1, indicadas na tabela 2.

Tabela 2: alguns exemplos de proporção entre as bases nitrogenadas existentes em moléculas de DNA de diferentes fontes.

Organismo	A/T	A/C	A/G	C/G	C/A
<i>E. coli</i>					
<i>D. pneumoniae</i>					
<i>M. tuberculosis</i>					
Levedura					
Ouriço (sptz)					
Arenque (sptz)					
Rato (medula óssea)					
Homem (timo)					

Aqui, a matemática é mais simples e os alunos não têm dificuldade de completar a tabela se conseguirem superar a preguiça. Você pode sugerir que eles completem por grupo, cada um calculando os valores de uma coluna.

Organismo	A/T	A/C	A/G	C/G	C/A
E. coli	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
D. pneumonia	1,0	1,7	1,7	1,0	0,6
M. tuberculosis	1,0	0,4	0,4	1,0	2,3
Levedura	1,0	1,9	1,9	1,0	0,5
Ouriço (sptz)	1,0	1,8	1,8	1,0	0,6
Arenque (sptz)	1,0	1,3	1,3	1,0	0,8
Rato (medula óssea)	1,0	1,4	1,4	1,0	0,7
Homem (timo)	1,0	1,5	1,5	1,0	0,7

{ RESPOSTA COMENTADA }

6. Levando em conta que Chargaff estava em busca de regras gerais, ou seja, que valessem para a maioria das moléculas de DNA, existe alguma característica comum a todas as moléculas de DNA estudadas? Identifique as, caso existam.

Normalmente, os alunos percebem que as razões A/T e C/G são iguais a 1 para todas as espécies estudadas. Talvez você precise ajudá-los a concluir que as quantidades de A e T são idênticas e C e G também.

{ RESPOSTA COMENTADA }

Embora pareçam simples, estes resultados foram fundamentais para o trabalho de elucidação da estrutura da molécula de DNA, porque os resultados eram semelhantes para todas as amostras de DNA estudados, ou seja, constituíam-se em regras gerais.

Este tipo de resultado confirma a ideia de que a estrutura do material genético seria do mesmo tipo em todos os seres vivos.

Outra contribuição decisiva para a elucidação da estrutura do DNA foram os estudos usando Difração de Raios-X, feitos pelo grupo de Maurice Wilkins, ao longo das décadas de 40 e 50. Compreender esta técnica e interpretar os resultados obtidos com ela exige um conhecimento específico de que não dispomos no momento. Mas é possível compreender os princípios gerais do método, apenas como ilustração. Nesta técnica, os Raios-X são disparados contra moléculas purificadas de DNA.

Dependendo da organização dos átomos na molécula, os Raios-X vão atravessá-la ou “ricochetear” de diferentes maneiras. Estes Raios-X marcam uma chapa parecida com a das radiografias comuns, gerando informações a respeito da estrutura da molécula. Apenas como uma comparação (bastante forçada), lembre que, nas radiografias, os ossos aparecem em cor clara (branca) e o resto do corpo em cor escura (preta). Isto está relacionado ao quanto cada tipo de material absorve, reflete ou deixa passar os Raios-X.

Os experimentos realizados usando essa técnica mostravam que o DNA tinha algumas características marcantes. Tratava-se de moléculas longas e finas, formadas por duas estruturas paralelas, que de alguma maneira mantinham-se unidas, e estas moléculas longas enrolavam-se, formando uma estrutura helicoidal (em hélice, que é uma forma parecida com a do arame que une as folhas no caderno que chamamos de “espiral”).

James Watson e Francis Crick, baseando-se em parte nos resultados do grupo de Maurice Wilkins, produziram modelos representando as diferentes moléculas que compunham os nucleotídeos, e tentaram elaborar um modelo geral que explicasse as informações disponíveis na época. Verificaram que, devido à maneira como os nucleotídeos se ligavam uns aos outros, as bases A e T estariam ligadas entre si, e C e G também. Outras combinações de bases (A com C, ou T com G, por exemplo) não eram possíveis.

Em resumo, o modelo de Watson e Crick, aceito até hoje, descreve o DNA como uma molécula formada por **duas cadeias de nucleotídeos**. Essas cadeias se mantêm unidas porque uma base nitrogenada de uma cadeia se liga a uma base nitrogenada da outra cadeia. As bases A se ligam sempre a uma T e a C a uma G (figura 6).

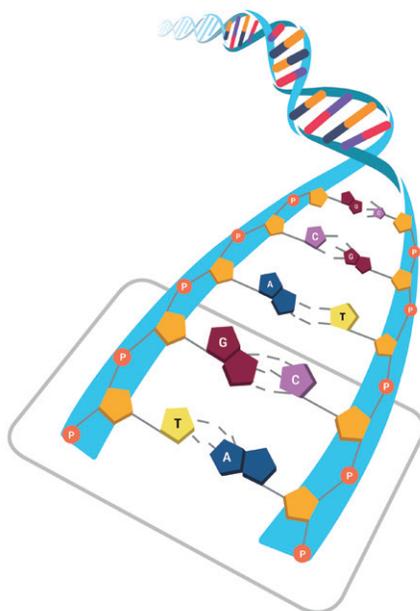


Figura 6: estrutura da molécula de DNA. Em destaque dois pares de nucleotídeos. A Timina de uma cadeia se liga a um nucleotídeo Adenina da outra cadeia. Em uma mesma cadeia, dois nucleotídeos se mantêm unidos pela ligação de um fosfato (P) e uma desoxirribose, representada no esquema por um pentágono.

7. O modelo de Watson e Crick concorda com os resultados de Chargaff? Justifique.

Se até o momento os alunos estiverem conseguindo fazer o estudo dirigido, é provável que eles percebam que o modelo de Watson e Crick respeita os dados de Chargaff. Pelo fato de A sempre se ligar com T, suas quantidades serão sempre idênticas. O mesmo acontece com C e G.

{ RESPOSTA COMENTADA }



Olá professor você pode passar um vídeo sobre estrutura de DNA. Há vários deles disponíveis no youtube. Uma opção é o seguinte link: <http://www.youtube.com/watch?v=vX64TGMdeR8>. Por se aprofundar em detalhes químicos, só seria preciso mostrar os primeiros cinco minutos.

Roteiro de Ação 2

Por dentro das células: cromossomo, DNA e gene

Duração prevista: 50 minutos.

Área de conhecimento: Biologia.

Assunto: Estrutura dos cromossomos.

Objetivos: Compreender a relação entre cromossomo, DNA e gene.

Pré-requisitos: conhecimentos básicos dos termos célula, núcleo, membrana celular, carioteca (envelope nuclear), óvulo, espermatozoide e informações genéticas. Domínio do uso de dicionário.

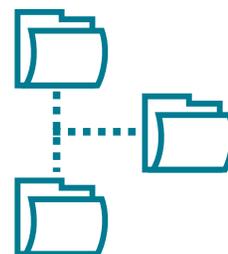
Material necessário por grupo de trabalho: - Dicionário escolar; - Livro didático de Biologia contendo capítulo sobre núcleo e ácidos nucleicos; - Roteiro.

Organização da classe: alunos organizados em duplas ou trios.

Descritores associados:

H15 – Interpretar modelos e experimentos para explicar fenômenos ou processos biológicos em qualquer nível de organização dos sistemas biológicos.

H17 – Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.



O objetivo dessa atividade é dar oportunidade aos alunos de trabalhar com conceitos importantes para o estudo do núcleo da célula: cromossomo, gene e DNA. É comum, na nossa experiência em sala de aula, a percepção de que os alunos não compreendem bem os termos citados. Sugerimos que essa atividade seja oferecida aos estudantes sem qualquer preparação anterior. Durante a tarefa, é importante que haja interação entre os alunos e o professor, dialogando, elaborando hipóteses para explicar cada imagem, pesquisando nos materiais disponíveis. Após a execução da tarefa, é essencial que haja tempo para a discussão dos resultados e o esclarecimento de todas as dúvidas. Sugerimos também a utilização de outras imagens que o professor e os alunos conseguirem, a fim de ampliar o repertório da turma quanto às possíveis representações dos termos apresentados.



Sugestões de imagens

Algumas indicações de imagens de domínio público. Você pode usar, citando a fonte.

Imagem representando a estrutura do DNA no interior de um cromossomo duplicado:

<http://www.genome.gov/dmd/img.cfm?node=Photos/Graphics&id=85341>

Imagem de um cromossomo duplicado, mostrando um trecho da sequência de bases do DNA: <http://www.genome.gov/dmd/img.cfm?node=Photos/Graphics&id=85259>

Imagens de modelos da molécula de DNA, mostrando detalhes do pareamento das bases: <http://www.genome.gov/dmd/img.cfm?node=Photos/Graphics&id=85271> <<http://www.genome.gov/dmd/img.cfm?node=Photos/Graphics&id=85272>>

Imagem que esclarece o que é cromossomo, o que é cromatina: <http://www.genome.gov/dmd/img.cfm?node=Photos/Graphics&id=85280>

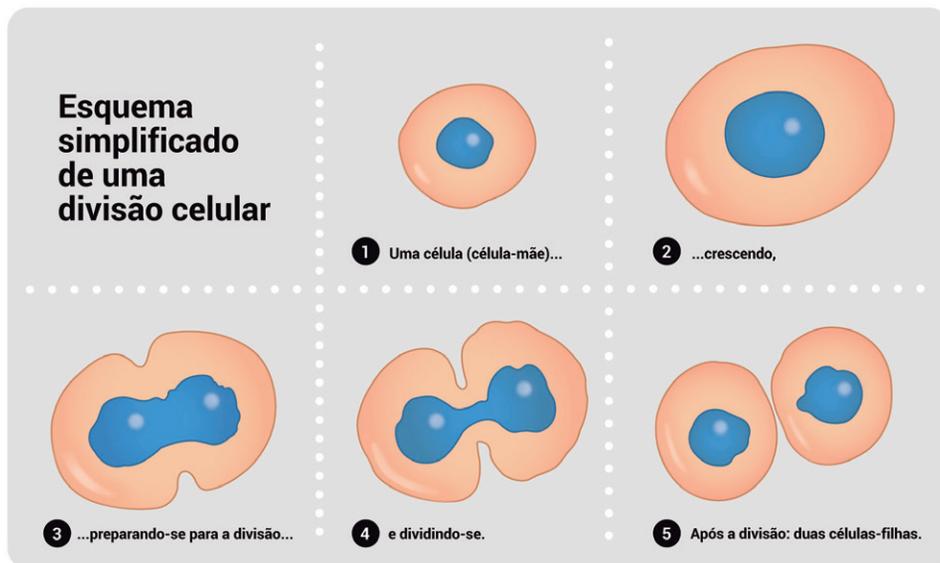
Por dentro das células: cromossomo, DNA e gene.

Você já reparou?

Quando um bebê cresce, transformando-se num adulto, o número de células do seu corpo aumenta. O efeito visível da multiplicação celular pode ser percebido por um aumento de peso e altura. Mas o bebê não se torna apenas maior e mais pesado. Suas proporções corporais e sua forma também mudam, conforme ele cresce.

As bases do crescimento são mais e mais células...

Quando uma célula está prestes a se dividir ela aumenta sua ingestão de nutrientes e dobra de tamanho. O envoltório nuclear desaparece, e um sulco começa a se formar ao redor da célula. O núcleo divide-se em dois, e o sulco ao redor da célula aprofunda-se gradualmente, terminando por dividi-la em duas novas células.



Mesmo quando já paramos de crescer...

Até num adulto, as células de várias partes do corpo precisam crescer e dividir-se a fim de repor as células mortas. E aquelas células que não podem ser substituídas precisam ser mantidas em funcionamento.

Somos diferentes uns dos outros... Mas todos nós somos parecidos com os nossos parentes. Por quê?

Cada um de nós é produto do meio em que crescemos e das informações genéticas que herdamos de nossos pais. Ambos os fatores são muito importantes. Nós herdamos diferentes informações, e crescemos em diferentes circunstâncias físicas e sociais.

As informações

Cada um de nós desenvolveu-se a partir de uma única célula, o zigoto (óvulo fertilizado). Esta única célula continha as informações para originar todos os milhões de células do nosso corpo

De onde vêm as informações?

Quantidades iguais de informações genéticas vêm do óvulo e do espermatozoide. As informações estão guardadas em longos fios que se localizam no núcleo de ambas as células.

O núcleo do óvulo contém 23 desses fios, cada um carregando uma parte diferente das informações. O núcleo do espermatozoide também contém 23 fios, carregando um conjunto semelhante de informações.

Durante a fecundação (ou fertilização) os dois núcleos se unem, formando um só. Então, o óvulo fertilizado contém os dois conjuntos de informações, um do pai e outro da mãe.

Como são realmente esses fios que contêm as informações genéticas?

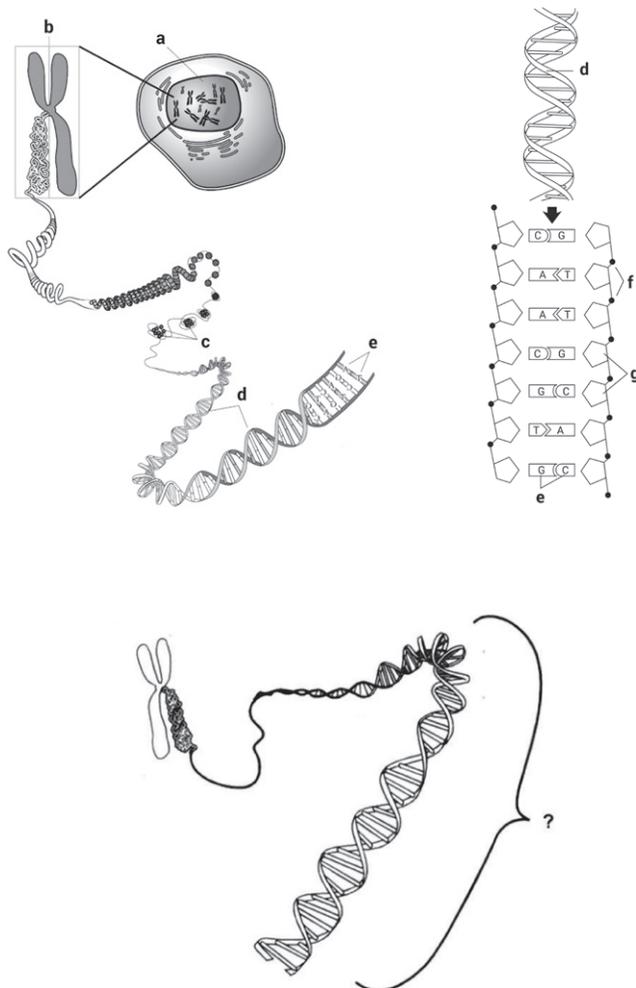
Na maior parte do tempo, esses fios são tão finos que não podem ser vistos num microscópio comum, mesmo que ele aumente, por exemplo, 450 vezes!

Mas, antes da célula se dividir, esses fios duplicam-se e enrolam-se em uma espiral compacta. Esses fios duplicados e espiralizados podem ser vistos ao microscópio. Eles se parecem com bastões duplos e escuros. **E qual o nome deles? De que eles são feitos? Vamos descobrir?**

DESAFIO!

Nós ainda não estudamos o núcleo das células e a estrutura dos fios que guardam as informações genéticas. Mas algumas das ideias relacionadas a esses assuntos fazem parte do nosso cotidiano. Sendo assim, é possível que você já tenha observado imagens parecidas com as mostradas a seguir.

Observe com atenção, repare nos detalhes de cada desenho. Tente se lembrar... Você já viu uma ilustração parecida em outra ocasião?



Fontes das ilustrações: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/Class/MLACourse/Original8Hour/Genetics/chromosome.html>

Agora que você já percebeu os detalhes de cada imagem, vamos continuar.

Para que essa parte do nosso desafio seja bem-sucedida é importante que você siga as seguintes instruções.

a) Faça essa tarefa em dupla ou trio.

b) Você certamente já reparou que as imagens estão marcadas com letras. Algumas delas aparecem em mais de um esquema.

Troque ideias com seu grupo e procure identificar os elementos marcados. **Não consulte qualquer tipo de material nesse momento.**

Escreva as ideias do grupo na coluna “Identificações” da tabela. Tente registrar mais do que um nome, citando algum detalhe do elemento. O primeiro item já foi identificado para dar um exemplo. Complete todos os itens dessa coluna.

c) Agora, você descobrirá se suas ideias estão completas ou precisam de acréscimo e correção.

Faça assim:

- Consulte o índice de um livro de biologia. Localize os capítulos onde você pode encontrar mais informações sobre as imagens. Se você tiver dúvidas sobre alguma palavra, pode também consultar um dicionário.

- Corrija o que for necessário e acrescente informações para entender melhor as ilustrações. Use a coluna “Correção e acréscimos” para fazer as suas anotações. Não apague as informações da coluna “Identificação”.

Elemento	Identificação	Correção e Acréscimos
A	Núcleo da Célula	
B		
C		
D		
E		
F		
G		
?		

Tabela completa? Muito bem! Agora, participe da discussão com a turma, mostrando as descobertas do seu grupo. Se você ainda tiver alguma dúvida, aproveite a oportunidade para esclarecê-la.

Professor, as respostas a seguir são um exemplo do que pode ser trabalhado com os alunos. Sugerimos que você construa junto com eles, ao final da discussão, um gabarito.

Elemento	Identificação	Correção e Acréscimos
A	<i>Núcleo da Célula</i>	<i>Ele contém as informações genéticas</i>
B	<i>Cromossomo duplicado</i>	<i>O cromossomo se duplica antes da divisão da célula.</i>
C	<i>Proteínas</i>	<i>Proteínas que ajudam a molécula de DNA a ficar enrolada sem se quebrar.</i>
D	<i>Molécula de DNA</i>	<i>Macromolécula de DNA formada por muitas pequenas moléculas de bases nitrogenadas, fosfatos e açúcar desoxirribose.</i>
E	<i>Bases nitrogenadas</i>	<i>As bases nitrogenadas que encontramos na macromolécula de DNA são: adenina, timina, guanina e citosina. São elas que constituem a informação genética.</i>
F	<i>Fosfatos</i>	<i>Os fosfatos dão sustentação às bases nitrogenadas.</i>
G	<i>Açúcar com 5 carbonos: desoxirribose</i>	<i>As moléculas do açúcar desoxirribose ajudam os fosfatos na sustentação das bases nitrogenadas.</i>
?	<i>Gene</i>	<i>O gene corresponde, fisicamente, a um pedaço do DNA.</i>



{ RESPOSTA COMENTADA }

Unidade 2

OS DESAFIOS AO ENSINARMOS SÍNTESE PROTEICA

Quando chega o momento de ensinar síntese de proteínas, vivemos, como professores, uma situação que exige bastante **esforço, criatividade e estudo**. Para aprender transcrição e tradução são necessários conceitos vindos de diferentes áreas do conhecimento, alguns pertencentes ao campo da Biologia e outros de ciências afins, como a Química. Os alunos são muito exigidos na sua capacidade de fazer relações e existem muitos termos diferentes a serem compreendidos.

As dificuldades normalmente enfrentadas pelos estudantes com esse tema serão menores se estivermos preparados para ajudá-los. Primeiro, é necessário listar os conceitos importantes e ajudar os alunos a entendê-los. Não é fácil delimitar o indispensável ao entendimento desse tema. Por outro lado, também não é simples tornar os conceitos compreensíveis a alunos que, frequentemente, já trazem consigo dificuldades com a língua portuguesa. Daí a necessidade de **esforço**.

Depois dessa primeira tarefa, é adequado apresentar uma situação que sirva como estímulo para a curiosidade dos estudantes, o que criará um ambiente propício para a apresentação do processo. Aqui, o **estudo** e o exercício da **criatividade** farão diferença: tornarão mais fácil o encontro de exemplos que despertem a curiosidade, mobilizando a vontade de aprender. Uma sugestão de situação instigante é o uso do título e do primeiro parágrafo que vêm a seguir. Eles iniciam a nossa reflexão e poderiam ser colocados no quadro para iniciar o estudo do tema com os alunos.



“Fofoca na célula: o disse-me-disse da síntese proteica”

O título é uma brincadeira e uma provocação. Serve para chamar a atenção e plantar perguntas. Qual a semelhança entre a fofoca e a síntese proteica? Quais as diferenças? Afinal, essa comparação é válida? Sugerimos que você se informe e construa sua opinião.

Após essa provocação, passemos à nossa reflexão.

O que representa a síntese de proteínas para um organismo? Um processo de produção de macromoléculas essenciais à construção das células? Certamente, mas não é tudo.

Por meio das proteínas sintetizadas, os genes comandam as células, determinando sua função e sua fisiologia. Genes são compostos por sequências de DNA e são expressos em características físicas, chamadas de fenótipos. Proteínas são características físicas e, portanto, fenótipos. Então, genes são expressos na forma de proteínas, certo? Sim, isso é verdadeiro. Porém um pouco de cuidado é necessário: **um** gene não é sempre responsável pela produção de **uma** proteína. E por quê?

Bem, em primeiro lugar, porque existem proteínas formadas por mais de uma cadeia de aminoácidos (cadeia polipeptídica). E cada gene codifica apenas uma dessas cadeias. Um exemplo muito conhecido é a proteína hemoglobina, composta por quatro polipeptídeos que são codificados, separadamente, por genes diferentes.

Outra razão para sermos prudentes com essa afirmativa é a existência de genes com outras funções: há aqueles que codificam apenas o RNA e os que controlam a expressão de outros genes.

Essa relação entre genes e proteínas nem sempre foi clara. Muito esforço, um número significativo de pesquisadores e um longo período de tempo foram necessários para esclarecer essa e outras questões relacionadas ao código genético e à síntese de proteínas.



A palavra gene é derivada do termo grego gen, que significa “que gera”. Foi proposta, em 1911, pelo biólogo dinamarquês Wilhelm Ludvig Johannsen (1857-1927), que também criou os termos genótipo e fenótipo. Para mais informações, consulte a página dedicada a esse pesquisador, disponível em <http://en.wikipedia.org/wiki/Wilhelm_Johannsen> (acesso em 08 jan. 2018).

O conceito de gene teve papel central na Biologia desde sua criação, no início do século XX. O conceito molecular clássico define gene como um segmento do DNA que codifica um produto funcional (polipeptídeo ou RNA). Entretanto, nas últimas décadas, várias pesquisas resultaram na descoberta de genes que fogem ao conceito clássico. Essas descobertas criaram obstáculos inesperados para a compreensão do conceito de gene. É importante se informar a respeito dessa questão.



“A genética em transformação: crise e revisão do conceito de gene”, de Leyla Mariane Joaquim e Charbel Niño El-Hani; disponível em:

<<http://www.revistas.usp.br/ss/article/view/11197/12965>> (acesso em 8 jan. 2018).

“O conceito molecular clássico de gene como obstáculo pedagógico no ensino e aprendizagem de genética”, de Lucio Ely Ribeiro Silvério e Sylvania Regina Pedrosa Maestrelli; disponível em <<http://www.nutes.ufrj.br/abrapec/viiienpec/resumos/R0291-1.pdf>> (acesso em 08 jan. 2018).

“Dominante ou recessivo?”, de Regina Célia Mingroni Netto; disponível em http://docs.wixstatic.com/ugd/b703be_63f26b774c424b9f95961104c6b81162.pdf (acesso em 08 jan. 2018).

O termo polipeptídeo se refere ao agrupamento formado pela união de moléculas de aminoácidos. Os aminoácidos são moléculas orgânicas formadas pela união de átomos de carbono, hidrogênio, oxigênio e nitrogênio. Quando aminoácidos se unem, eles o fazem por meio de ligações peptídicas. Por isso, pequenos agrupamentos de aminoácidos são chamados de peptídeos. Um polipeptídeo é formado por uma longa cadeia de aminoácidos. As proteínas são compostas por polipeptídeos, pois são constituídas por um grande número de aminoácidos.



Sugerimos a leitura do texto sobre proteínas da revista Química Nova na Escola, disponível em <<http://qnesc.sbgq.org.br/online/qnesc24/ccd1.pdf>> (acesso em 08 mar. 2018).

Para que o gene se expresse, sua informação em código é transferida para uma molécula de RNA. Esse evento é chamado de **transcrição gênica**. “Transcrever” significa fazer citação ou cópia escrita de texto alheio. O que acontece durante a transcrição gênica é algo parecido: a informação do gene é copiada em uma molécula de RNA. Depois, essa molécula de RNA sai do núcleo, passando pelos poros da carioteca (envoltório nuclear), e chega ao citoplasma. Lá, encontra-se com ribossomos, organelas onde é feita a leitura dessa cópia e a **tradução**. “Traduzir” é verter (um texto, obra, palavra etc.) de um idioma para outro. Na tradução realizada pelos ribossomos, converte-se a informação contida no RNA e escrita no idioma dos ácidos nucleicos para o idioma das proteínas. Forma-se, então, uma cadeia de aminoácidos.

Se a explicação contida no parágrafo anterior, com as devidas informações e ilustrações sobre o RNA e ribossomos, fosse apresentada a estudantes de Ensino Médio, serviria como uma boa descrição da síntese de proteínas? Talvez você responda afirmativamente. Mas, você também concordará que, para os estudantes compreenderem como uma mutação gênica pode afetar uma proteína, por exemplo, é necessário detalhar um pouco mais o que acontece. Apesar de certos detalhes serem importantes, quando se ensina síntese proteica no Ensino Médio é comum a apresentação de muitos pormenores que, por vezes, alongam demais o estudo e comprometem a sua visão geral.

Como, então, decidir o que é adequado e necessário à turma? Pelo modelo proposto nos livros didáticos? Pelo currículo? Pelo seu gosto pessoal? Pelo que você acredita ser a capacidade de compreensão dos alunos? Como resolver esse impasse?

Que tal o estudo? Conheça bem o tema, os detalhes dos processos e planeje com propriedade e segurança o seu curso.

A cópia da informação do gene para uma molécula de RNA: a transcrição

Na molécula de DNA estão as instruções para a montagem da cadeia de aminoácidos que dará origem à molécula proteica. Essas instruções precisam passar para a molécula de RNA mensageiro, cuja função é levá-las até os ribossomos – organelas que sabem ler a receita da proteína e, com o auxílio das moléculas de RNA transportador, dão origem à cadeia de aminoácidos.

Uma verdadeira conversa celular! Uma mensagem sendo passada adiante, de molécula em molécula, sofrendo certas alterações, mas mantendo seu sentido e objetivo.

A primeira etapa dessa conversa é a cópia das instruções contidas no DNA, ou seja, a cópia do gene, que é chamada de transcrição. Para que ela seja feita, é necessária a presença de algumas moléculas:

- O **DNA**, é óbvio, porque nele está o gene que será expresso;
- Várias pequenas moléculas, chamadas de **ribonucleotídeos**, que são os componentes da molécula de RNA onde será copiada a informação do gene;
- A enzima **RNA polimerase**.

A molécula de DNA é composta por duas fitas, duas longas sequências de desoxirribonucleotídeos que se ligam na região das bases nitrogenadas por meio de pontes de hidrogênio. Um gene corresponde, fisicamente, a um trecho dessa molécula de DNA, mas ele se localiza em somente uma das fitas. Isso quer dizer que em um trecho de uma molécula de DNA temos uma fita que contém determinada informação, sendo um gene. Essa fita é chamada de **fita molde**. A parte complementar, o outro lado da molécula de DNA, não faz parte desse gene em questão e recebe o nome de fita não molde.

Uma “fita não molde” para um dado gene pode ser uma fita molde de outro gene qualquer. Essa informação deve ser trabalhada com nossos alunos. Muitos deles não conseguem compreender o que é um gene, fisicamente, porque certos livros didáticos costumam omitir essa explicação ou a fornecem de maneira incompleta. Utilize a imagem a seguir com os alunos. Ela é de uso livre, basta que você cite a fonte.

Esse gene de que falamos será o molde para a montagem da molécula de RNA com a cópia da sua informação. Mas, como a molécula de DNA tem duas fitas e apenas uma será copiada, é necessário que as fitas se separem. Para que isso aconteça, a enzima RNA polimerase reconhece o início do gene (“região promotora do gene”) e liga-se a ele. A transcrição (cópia) é feita a partir da primeira sequência de bases, chamada de “iniciadora”. Essa sequência do DNA é composta pelas bases timina, adenina e citosina (TAC). A partir desse ponto, a enzima abre a molécula de DNA, separando as duas fitas, e orienta o encaixe dos ribonucleotídeos. Essa união dos ribonucleotídeos é feita de acordo com a complementaridade entre as bases de DNA e RNA. Dessa forma, a sequência iniciadora do DNA (TAC) é transcrita para o RNA como AUG. A molécula de RNA polimerase sempre começa a transcrição da fita de DNA pela extremidade chamada de 5’, aquela onde o grupamento fosfato está ligado ao carbono 5 da pentose.

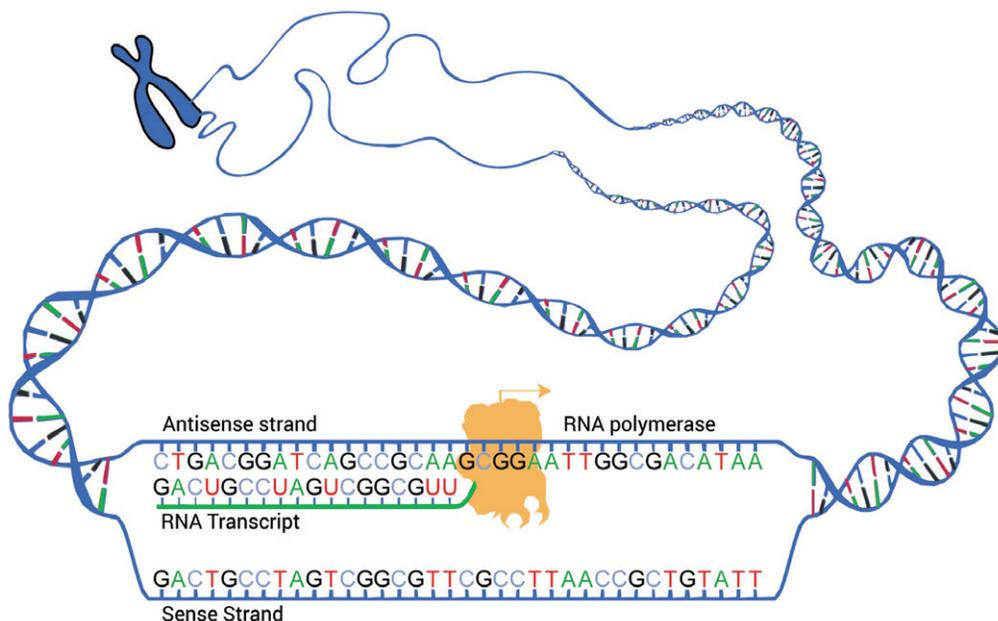


Figura 1: Esquema da transcrição de certo gene (fita molde) que mostra a localização da fita não molde.
Fonte: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:DNA_transcription.svg> (acesso em 08 jan. 2018). Imagem de domínio público.

Na transcrição não são formadas apenas moléculas de RNA mensageiro. É também por esse processo que se formam as moléculas de RNA ribossômico, para composição dos ribossomos, e as

moléculas de RNA transportador, para carregamento dos aminoácidos. Na transcrição bacteriana, apenas um tipo de RNA polimerase realiza as transcrições dos diferentes tipos de RNA. No caso da transcrição em células eucarióticas, são três tipos de RNA polimerase. Os tipos são chamados de I, II e III; eles transcrevem, respectivamente, as moléculas dos RNA ribossômicos, dos mensageiros e dos transportadores.

Nas células procarióticas das bactérias, a transcrição do RNA ocorre ao mesmo tempo que a tradução, pois os dois processos acontecem no citoplasma. Nas células eucarióticas, quando a transcrição termina no núcleo, a molécula de RNA formada ainda não é funcional. O RNA recém-transcrito, denominado RNA primário, não pode ser imediatamente utilizado, pois os pedaços que contêm as informações necessárias à síntese proteica, os **exons (EX**pressed regi**ON)**, estão separados. Eles estão intercalados com outras sequências de nucleotídeos, os **introns (INTR**agenic regi**ON)**, que não codificam aminoácidos.

O processamento desse RNA primário envolve o *splicing* (emenda): há remoção e digestão dos introns e posterior junção dos exons. Essa emenda é feita pelo spliceossomo, conjunto de proteínas e moléculas de um tipo de RNA com atividade catalítica. A molécula mais curta formada é o RNA mensageiro (RNAm), que pode sair do núcleo.

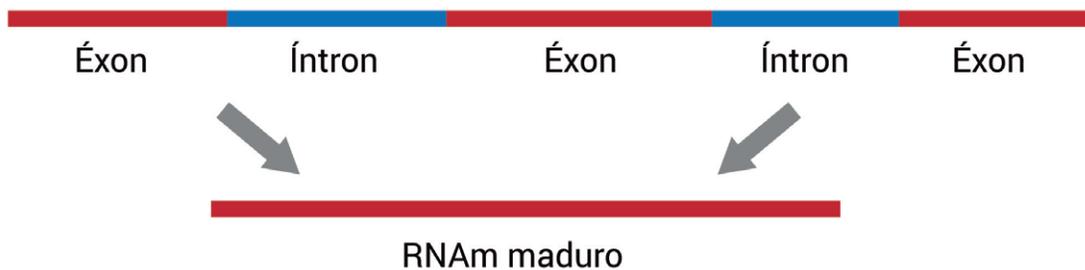


Figura 2: Emenda (splicing) de RNA.

Fonte: Disponível em <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Exon-intron.jpg> (acesso em 08 jan. 2018). Traducida al español por Angel Herraes. El original em inglés (domínio público) realizado por kazulanth e disponível em <http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Exon-intron.jpg>.

O corte dos introns e a união dos exons podem ocorrer de maneiras diversas, originando diferentes moléculas de RNAm funcional a partir da mesma molécula de RNA primário. Isso quer dizer que, tendo como molde o mesmo trecho de DNA, podem ser formados diferentes RNA mensageiros. Esse evento recebe o nome de *splicing* alternativo.

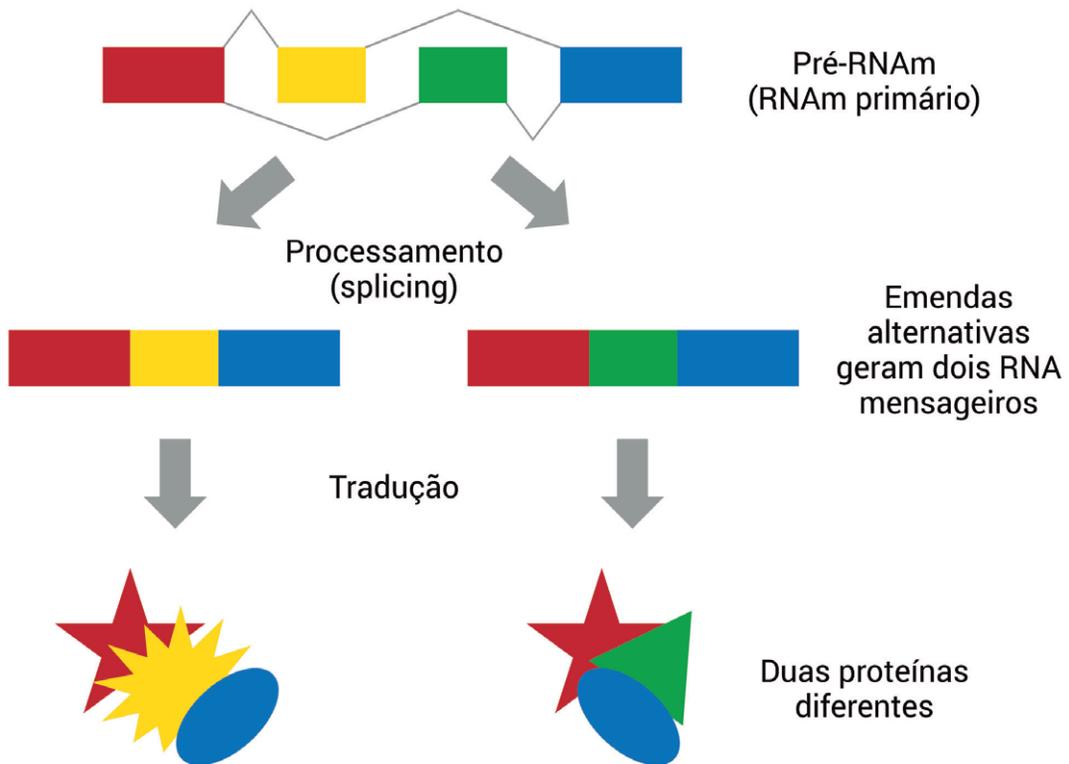


Figura 3: Emendas alternativas (splicing alternativo) de RNAm

Fonte: Disponível em: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Splicing_overview.jpg> (acesso em 8 jan. 2018). Imagem liberada para uso pelo autor: Agathman.

Até este momento, consideramos que tudo acontece como esperado e o RNAm funcional não tem modificações. De quais modificações estamos falando? Daquelas trocas de bases nitrogenadas que podem acontecer no DNA e que resultariam em uma molécula de RNA diferente da usual. Essas modificações, as famosas **mutações**, podem levar à produção de proteínas diferentes do padrão normal. Isso seria bom ou ruim para o indivíduo? Bem, depende... Vamos ter que avançar para discutir melhor essa questão.

O código genético

Nas macromoléculas dos ácidos nucleicos, seja DNA ou qualquer tipo de RNA, as moléculas de açúcar e os grupos fosfato têm função estrutural enquanto a sequência de bases nitrogenadas é a informação genética. Essa sequência deve ser lida em trincas. Existe uma relação entre cada trinca de bases do DNA, as trincas de bases do RNAm e os aminoácidos que compõem uma proteína. Cada trinca de bases do RNAm é denominada códon, e cada códon corresponde a um aminoácido.

O tão falado **código genético** é justamente o conjunto dessas instruções para construir as sequências de aminoácidos das proteínas. Ele é formado por trincas de bases nitrogenadas que indicam

qual dos vinte aminoácidos existentes deve ser adicionado à cadeia polipeptídica que formará certa proteína. Foi decodificado no começo da década de 1960 e, atualmente, está presente na maioria dos livros didáticos de Biologia para o Ensino Médio. Analise a tabela da Figura 4.

Tabela do código genético: os códons do RNAm e os aminoácidos correspondentes

		SEGUNDA BASE DO CÓDON					
		U	C	A	G		
PRIMEIRA BASE DO CÓDON	U	UUU UUC	UCU UCC UCA UCG	UAU UAC	UGU UGC	U	TERCEIRA BASE DO CÓDON
		UUA UUG		UAA UAG	UGA UGG	C	
	C	CUU CUC CUA CUG	CCU CCC CCA CCG	CAU CAC	CGU CGC CGA CGG	A	
		AAU AUC AUA AUG	ACU ACC ACA ACG	AAU AAC	AGU AGC	G	
A	Isoleucina	Treonina	Asparagina	Serina	U		
	Metionina; INÍCIO		Lisina	Arginina	C		
G	Valina	Alanina	Ácido aspártico	Glicina	A		
			Ácido glutâmico		G		

Figura 4: Observe o códon AUG. Ele codifica o aminoácido metionina e marca por onde se inicia a síntese da proteína. Os códons UAA, UAG e UGA não codificam aminoácidos. Eles indicam o final da molécula de RNAm e o término da síntese da proteína.

Fonte: Tabela modificada de Vida: a ciência da Biologia. Vol. I. David Sadava et al. 8ª ed. Editora Artmed, 2009.

Observe que a tabela mostra a correspondência entre os códons, as trinças do RNAm e os aminoácidos. Se quisermos conhecer qual trinca de DNA dá origem a cada um dos aminoácidos, basta escrever a conversa no sentido oposto: a partir do códon, formar por complementaridade a trinca de DNA, respeitando o pareamento entre as bases do DNA e do RNA.

Exemplo: a trinca AUG da molécula de RNAm corresponde à trinca TAC da molécula de DNA.

A molécula de RNA tem quatro tipos diferentes de bases nitrogenadas. Sendo os códons compostos por três dessas quatro bases, são possíveis 64 combinações diferentes. Assim, há mais códons do que os necessários para formar os vinte tipos de aminoácidos existentes. Por isso, o **código genético** é chamado de **degenerado** ou **redundante**: há mais de um códon que corresponde ao mesmo aminoácido. Por exemplo, **GCU**, **GCC**, **GCA** e **GCC** correspondem ao aminoácido alanina.

O código ser redundante traz vantagens? Se considerarmos que uma troca de bases em um nucleotídeo (uma mutação) poderá resultar no mesmo aminoácido, não alterando a proteína, diremos que sim, há vantagens.

Por exemplo, uma troca (mutação) de uracila (U) para citosina (C) na trinca GCU, resultando na trinca GCC que, como a GCU, codifica alanina.

Mas atenção: apesar de redundante, o código genético não é ambíguo; o mesmo códon **não** serve para aminoácidos diferentes.

Até o momento, as experiências têm mostrado, com raras exceções, que os códons determinantes dos aminoácidos são os mesmos para todos os seres vivos conhecidos. Entre as exceções está o código das mitocôndrias, cloroplastos e alguns protozoários, o qual difere do código dos procariontes e do código do núcleo das células eucarióticas. Assim, o código genético parece ser universal e isso pode ser uma indicação da origem evolutiva comum a todos os seres vivos.

A conversão da informação contida no RNAm para o idioma das proteínas: a tradução

A segunda fase da conversa celular que resulta na síntese de proteínas é a tradução. Essa etapa envolve mecanismos para ativar aminoácidos, indicar pontos de começo e fim da síntese da cadeia de aminoácidos e remover a metionina (que indica o início da síntese), caso ela não venha a constituir a proteína a ser formada. Uma parte desses mecanismos é controlada por enzimas; a outra, pelas moléculas de RNA ribossômico, que também funcionam como enzimas. O RNA ribossômico encontra-se em grande quantidade e associado a proteínas, formando os ribossomos, organelas relacionadas com a síntese proteica.

A molécula de RNA transportador (RNAt) é uma molécula menor e mais leve que as outras moléculas de RNA. Sua função é transportar os aminoácidos que se encontram dissolvidos no citosol até os ribossomos, onde serão unidos para formar as proteínas, de acordo com o indicado na sequência do RNAm. Apresenta-se enrolado sobre si mesmo. Uma das extremidades, onde sempre estão as bases **CCA**, é o local de união com o aminoácido. Na região oposta dessa molécula existe outra trinca de bases que varia de acordo com o RNAt, chamada de anticódon. O anticódon do RNAt é responsável pelo reconhecimento do códon do RNAm. Existem vários tipos de RNAt, que variam quanto à trinca de bases do anticódon. Cada um deles transporta apenas um tipo de aminoácido.

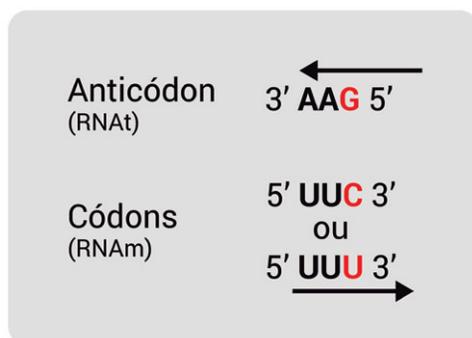
No início do processo de tradução, ocorre a ligação das moléculas de RNAt aos aminoácidos correspondentes, evento chamado de **ativação do aminoácido**. Nesse processo, catalisado por uma enzima, cada aminoácido une-se ao seu RNAt com gasto de energia. Após essa união, o RNAt está pronto para se encaixar no códon do RNAm que seja complementar ao seu anticódon. A enzima que catalisa essa ativação do aminoácido (aminoacil-tRNAsintetase) é a verdadeira tradutora do código

genético, pois é ela quem converte a informação, escrita no idioma dos ácidos nucleicos (anticódon do RNAt), para o idioma das proteínas (aminoácido que se liga ao RNAt).

Se cada códon de RNAm tivesse um anticódon de RNAt correspondente, quantos tipos de RNAt existiriam? Seriam 61 tipos, pois são 64 os códons possíveis, mas existem três que significam FIM e não codificam aminoácidos.

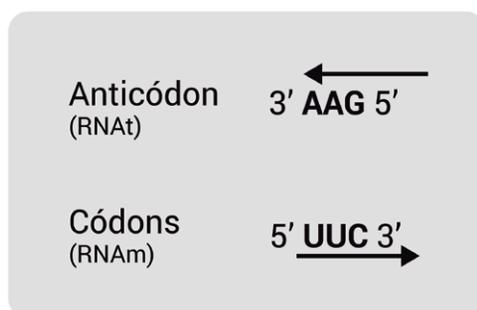
Porém não foram encontrados 61 tipos de RNAt.

O fato é que alguns RNAt, com certos anticódons, conseguem se emparelhar com mais de um códon de RNAm. Quando a primeira base do anticódon é guanina, ela pode emparelhar-se tanto com uma citosina quanto com uma uracila da última posição do códon. Portanto, os códons **UUC** e **UUU**, que correspondem ao aminoácido fenilalanina, são reconhecidos por um mesmo RNAt com anticódon **GAA**. Esse fato é denominado **emparelhamento incerto**.



Emparelhamento incerto relativo ao aminoácido fenilalanina.

Para entender a forma como foi escrito o emparelhamento acima, lembre que a sequência de bases de um ácido nucleico (DNA ou RNA) é sempre escrita no sentido 5' 3'. Sendo assim, podemos dizer que, para o códon de RNAm **UUC**, o anticódon de RNAt é **GAA**. Veja:



Além das moléculas de RNAt com aminoácidos ativados, são necessários ribossomos para que ocorra a tradução do código do RNAm em uma cadeia polipeptídica. Os ribossomos são formados

por outro tipo de molécula de RNA, o RNA ribossômico. Essa molécula de RNA, fabricada também por transcrição, como já comentamos, associa-se a mais de cinquenta tipos de proteínas, formando aglomerados em torno da região do cromossomo onde estão os genes que a codificam. Esse material granuloso é o **nucléolo**. Porções desse material se desprendem e migram para o citosol, saindo pelos poros da carioteca. Formam as organelas chamadas de ribossomos, compostas por duas subunidades de diferentes tamanhos. A menor apresenta o local para o encaixe do RNAm; a maior tem duas regiões, os sítios P e A, em que cabem dois códons adjacentes do RNAm e onde se encaixam as moléculas de RNAt. No sítio P (peptidilRNAt) encaixa-se o RNAt ligado ao polipeptídeo em formação. No sítio A (aminoacilRNAt) fica o RNAt que traz o próximo aminoácido a ser incorporado ao polipeptídeo.

Finalmente, temos o já citado RNA mensageiro (RNAm), a molécula que atua em conjunto com os ribossomos na síntese proteica. Ele é formado por um filamento único (simples) de nucleotídeos com várias sequências de trincas de bases nitrogenadas chamadas códons. A sequência de códons determina os aminoácidos que devem ser unidos para formar a cadeia polipeptídica das proteínas.

Agora que já revisamos as características das moléculas de RNAt e RNAm e dos ribossomos, podemos relembrar as três etapas da tradução, chamadas de **iniciação**, **elongação** e **terminação**.

A **iniciação** começa com a subunidade menor do ribossomo reconhecendo o códon de início (**AUG**) do RNAm. Proteínas chamadas de fatores de iniciação auxiliam esse processo. Depois, ocorre a união do primeiro RNAt a esse códon de início. Assim que isso acontece, a unidade maior do ribossomo se une a esse conjunto.

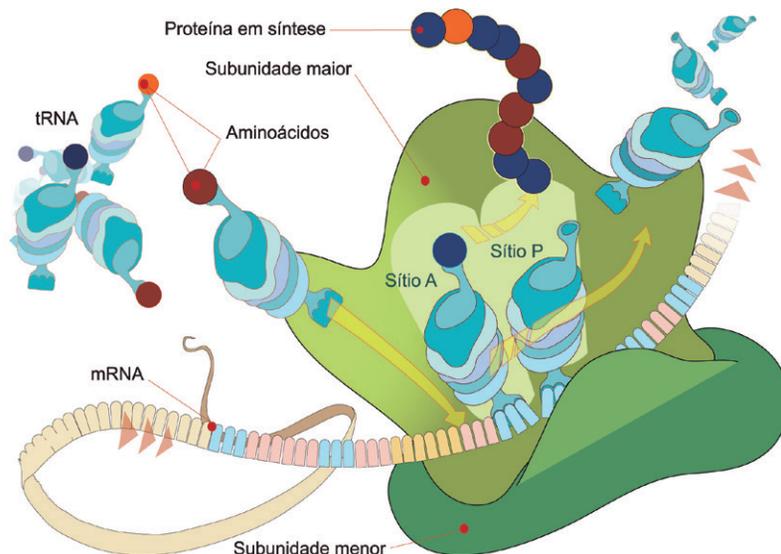


Figura 5. Diagrama mostra como ocorre a tradução do RNAm e a síntese de proteínas nos ribossomos.

Fonte: Disponível em: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ribossomo_tradu%C3%A7%C3%A3o_mRNA.svg> (acesso em 08 jan. 2018). Uso liberado pelo autor: LadyofHats.

Depois da união das subunidades do ribossomo, o sítio A, até então vazio, é ocupado por um RNAt correspondente ao segundo códon do RNAm. A metionina se solta do RNAt iniciador e une-se ao aminoácido recém-chegado por uma ligação peptídica. Enquanto isso, o ribossomo move-se em relação ao RNAm, deslocando-se o equivalente a um códon. O primeiro RNAt (RNAt iniciador) sai do ribossomo e o segundo RNAt, com dois aminoácidos presos à sua extremidade, passa a ocupar o sítio P. O sítio A fica vazio e pode receber um novo RNAt. Esse processo, a elongação, se repete até que todos os códons do RNAm que estão antes do códon de terminação sejam lidos pelo ribossomo e todos os aminoácidos sejam adicionados à cadeia polipeptídica.

A velocidade de adição de aminoácidos é de cerca de três a cinco aminoácidos por segundo.

O término da tradução acontece quando o sítio A do ribossomo encontra um dos códons de término do RNAm: **UAG**, **UAA** ou **UGA**. Não existem moléculas de RNAt correspondentes a esses códons, então o sítio A é ocupado por proteínas denominadas fatores de terminação, que separam a cadeia polipeptídica e o último RNAt e as duas subunidades do ribossomos. Está realizada a terminação.



Assista à animação interativa sobre síntese proteica disponível em <<http://wiki.sj.ifsc.edu.br/wiki/images/6/68/Bio7.swf>>.

Nas células eucarióticas, há tanto ribossomos livres no citosol quanto presos às membranas do retículo endoplasmático, formando o retículo endoplasmático granuloso (ou rugoso). Os ribossomos livres sintetizam proteínas que atuam no interior do citosol, do núcleo e das mitocôndrias. Os ribossomos presos ao retículo produzem proteínas que compõem algumas estruturas celulares, como o próprio retículo, o complexo golgiense e o lisossomo, além das proteínas secretadas pela célula.

No início da síntese, os ribossomos estão soltos no citosol. Porém, quando a cadeia polipeptídica que começa a se formar apresenta na sua extremidade inicial uma determinada sequência, o ribossomo adere à membrana do retículo. Assim, à medida que a proteína vai sendo sintetizada, ela penetra no interior do retículo. Quando a síntese termina, a proteína é liberada na cavidade dessa organela, o ribossomo se desgruda da membrana do retículo e se dissocia em suas duas subunidades. Quando a proteína não tem esse sinal, o ribossomo permanece livre no citoplasma.

O que acontece com a cadeia polipeptídica?

Quando a cadeia polipeptídica já está pronta, ela se dobra no seu formato tridimensional. Esse formato é determinado pelos seus aminoácidos e suas cadeias laterais, que definem a polaridade e a carga da macromolécula. Algumas vezes, essa cadeia sofre modificações, tais como quebras, adição de açúcares ou de grupamentos fosfato; assim a proteína adquire sua conformação tridimensional definitiva.

Além da estrutura tridimensional da cadeia polipeptídica, que permite sua interação com outras moléculas na célula, ela pode conter uma sequência que indica a que parte da célula ela pertence. Assim, se ela apresentar certa sequência, será enviada a essa parte da célula, que pode ser o núcleo ou a mitocôndria, por exemplo. Porém, se a proteína não possuir sinal específico, permanecerá no citoplasma.

Outro destino possível para a proteína é o retículo endoplasmático. Proteínas que são sintetizadas no retículo podem compor a própria organela ou ser enviadas ao complexo golgiense. Podem ainda ser mandadas para lisossomos ou sair da célula.

E as mutações? O que a síntese proteica tem a ver com isso?

A conformação tridimensional típica de uma proteína, que a faz funcionar, só é alcançada se os aminoácidos estiverem na ordem e na quantidade corretas. E essa estrutura correta depende da sequência de bases do DNA. Agora que já percorremos todo o caminho do gene à proteína, podemos compreender que, se houver certo tipo de mudança nas bases nitrogenadas de um gene, o RNA mensageiro pode ser diferente, modificando a ordenação dos aminoácidos e, conseqüentemente, alterando a proteína.

A redundância do código genético permite que certas trocas de bases do gene não resultem em alterações nos aminoácidos. Chamamos essas mutações de “silenciosas”.

Em certos casos, no entanto, algumas trocas de bases têm como consequência a troca de aminoácidos na proteína, causando um tipo de alteração que é chamada de **mutação de perda de sentido**. Normalmente, esse tipo de mutação altera a proteína e ela funciona mal.

Uma troca de bases do gene que resulte em um códon terminador no local errado também é possível. Nesse caso, a alteração é chamada de **mutação sem sentido**. Esse tipo de mutação pode produzir uma proteína mais curta e sem função.

Nem todas as mutações ocorrem por meio de trocas de bases nos genes. Em alguns casos, aparecem mais bases do que deveriam ou bases desaparecem. Nessas situações, podem ocorrer erros no quadro de leitura do DNA durante a formação do RNAm e todos os aminoácidos da cadeia polipeptídica após a mutação serão diferentes.

DNA (uma cadeia)

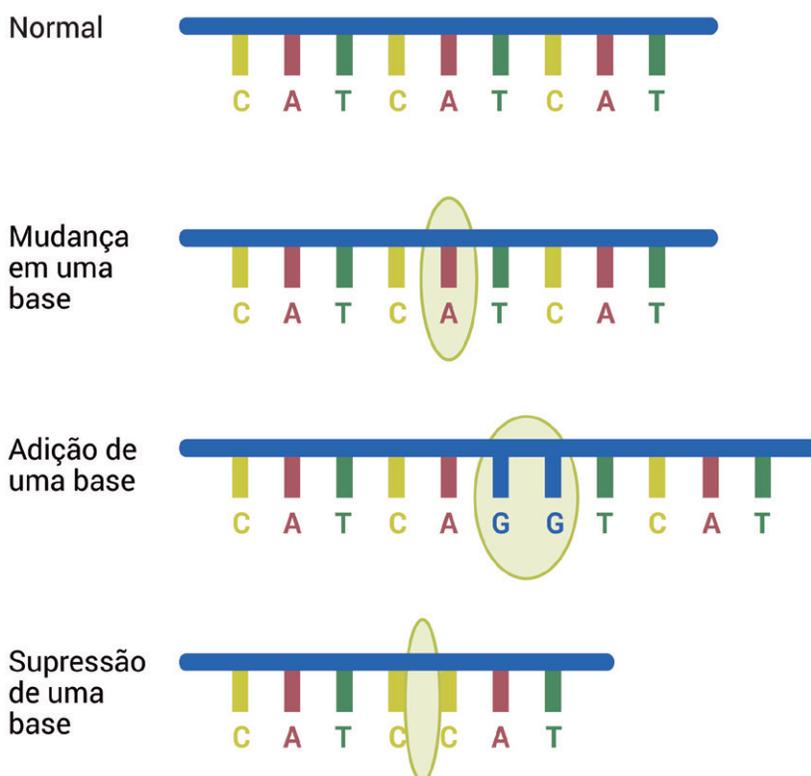


Figura 6. Exemplos de tipos de alterações em uma cadeia de DNA

Fonte: Disponível em: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mutaci%C3%B3n_ADN.jpg> (acesso em 08 jan. 2018).
Domínio público.

E como abordar a síntese proteica na sala de aula?

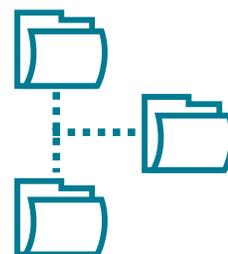
É bem interessante, depois do estudo da síntese proteica, simular mutações com os alunos. Pela nossa experiência, é uma boa forma de realmente aprender o que é cada tipo de mutação, quais podem ser suas consequências e fixar o conceito de código genético redundante.

Estamos terminando mais esta parte da nossa conversa. Agora você já tem uma opinião? A síntese proteica pode ser comparada a uma fofoca? Ou é melhor compará-la a uma boa conversa – e a fofoca acontece quando há uma mutação? Será que essa brincadeira daria um bom mote para começar o estudo sobre a produção de proteínas com seus alunos? Que outra ideia você tem para chamar a atenção deles para assunto tão importante dentro da Biologia? Pense sobre essas questões e conheça nossa proposta para trabalhar esse tema com os alunos no roteiro de ação “Acadêmicos Unidos da Proteína”.

Roteiro de Ação 3

Acadêmicos Unidos da Proteína

No roteiro de ação que propomos nessa unidade, fazemos uma brincadeira, comparando a síntese proteica com um desfile de escola de samba e suas alegorias cheias de detalhes. Os alunos são convidados a montar modelos em papel para simular a tradução de uma molécula de RNAm em uma cadeia polipeptídica.



Roteiro de Ação 3

Acadêmicos dos Unidos da Proteína

Duração prevista: 100 minutos.

Área de conhecimento: Biologia

Assuntos: Código genético e síntese de proteínas.

Objetivos: Compreender como ocorre a síntese proteica por meio de um modelo com simulações das principais fases do processo.

Pré-requisitos: Domínio dos conceitos relacionados à composição dos ácidos nucleicos, das proteínas e do código genético.

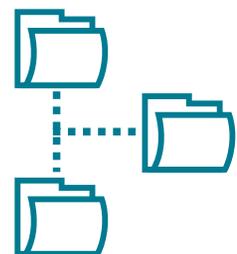
Material necessário: - Tesoura; - Cola; - Miniclipes para papel (11 unidades); - Folhas para recortar com desenhos do RNAm, do ribossomo, dos aminoácidos, dos RNAt e do fator de terminação; - Roteiro da aula.

Organização da classe: grupos de no mínimo três e no máximo seis alunos.

Descritores associados:

H15 – Interpretar modelos e experimentos para explicar fenômenos ou processos biológicos em qualquer nível de organização dos sistemas biológicos.

H17 – Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.



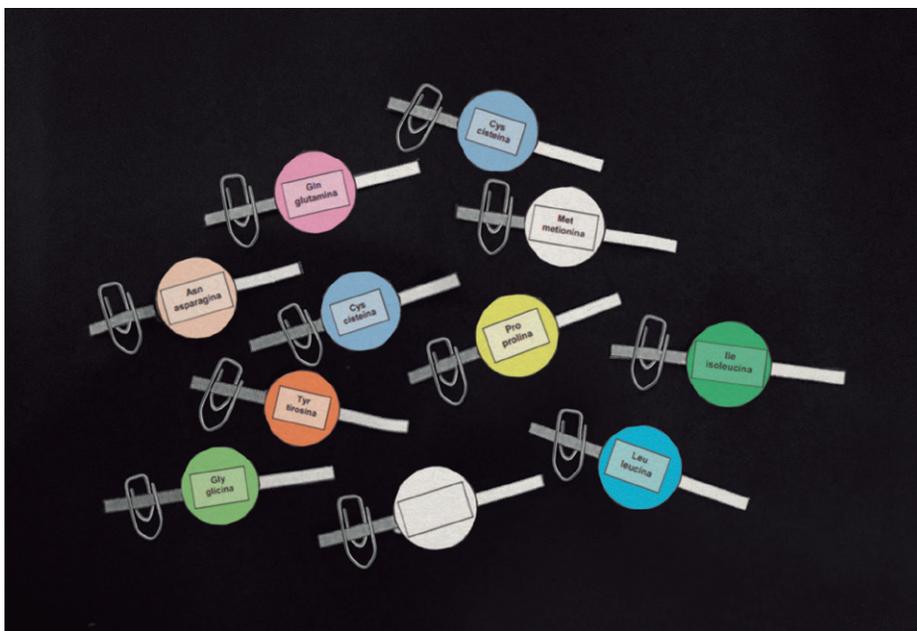
Esta é uma atividade com modelos de papel para entender a síntese proteica. Utilizam-se materiais de baixo custo, e os modelos podem ser construídos pelo professor, pelos alunos ou em conjunto.

Este roteiro de ação é uma adaptação da atividade “Trabalhando temas fundamentais: código genético e síntese de proteínas”, criada por J. M. Amabis e G. R. Martho, autores de livros didáticos de Biologia para o Ensino Médio. A proposta faz parte de uma série de fascículos colocada à disposição dos professores pela Editora Moderna em seu site e com permissão de reprodução dos modelos em papel, que aqui são utilizados no roteiro para os alunos.

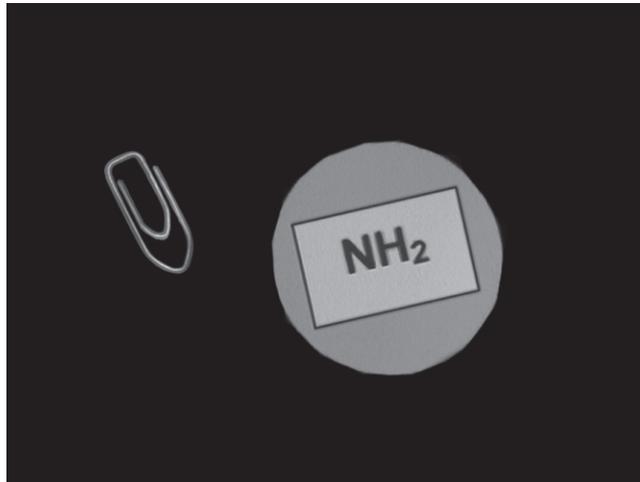
No site a seguir você encontrará o artigo original utilizado como fundamentação para a preparação deste roteiro de ação:
<http://www.lec.ufpr.br/fdg/downloads/DAG_2017/Plano_02_Simulando_A_Sintese_Proteica.pdf> Acesso em 09 jan. 2018.

Para que a atividade possa ser realizada, é necessária a montagem dos modelos em papel. Isso exige um tempo estimado em 50 minutos. Os outros 50 minutos são destinados à execução da atividade.

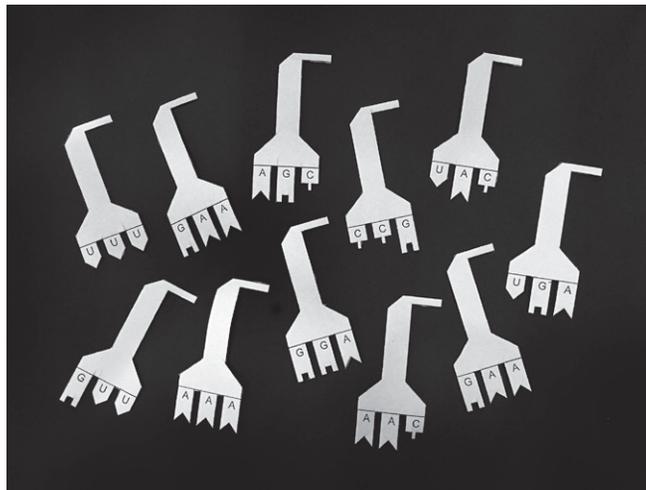
Exemplos das partes necessárias para representar a síntese do hormônio proteico ocitocina



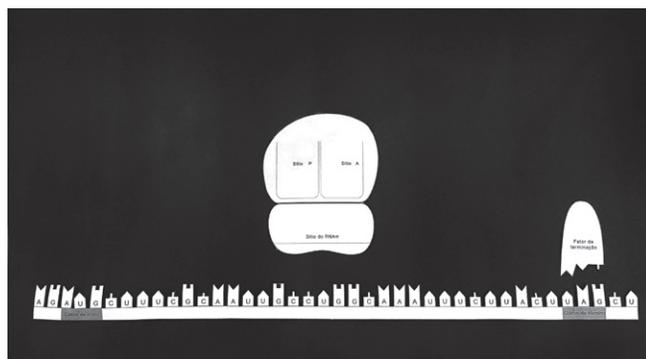
Modelos dos aminoácidos com miniclipes



Modelo do grupamento NH₂ e miniclipe



Modelos dos RNA transportadores



Modelo do ribossomo, do RNA mensageiro

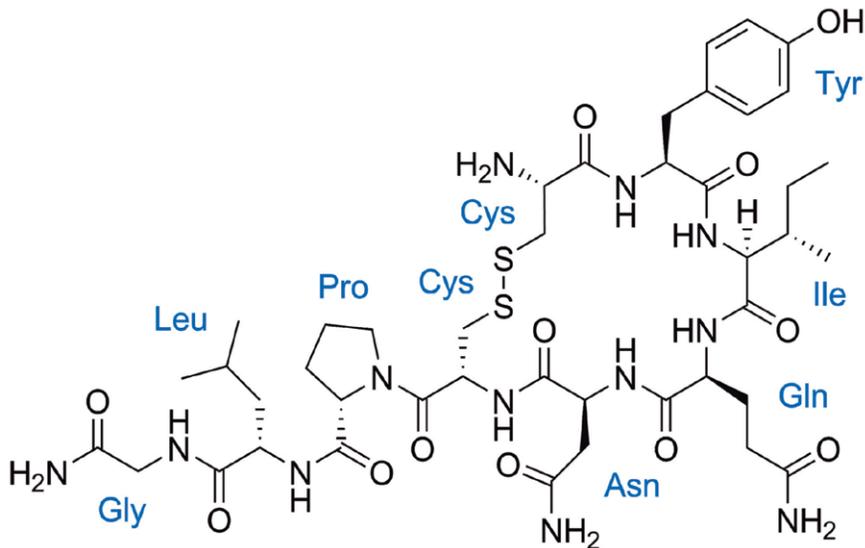
Os tamanhos dos modelos acima são os mesmos dos modelos adicionados ao final desse roteiro, quando impressos em papel tamanho A4.



Em <<http://www.fcencias.com/2013/02/14/molecula-da-semana-molecula-amor>> você encontra mais informações sobre a ocitocina. O texto a seguir é uma adaptação das informações contidas no texto original.

Molécula do Amor **Modificado de artigo publicado em 14 de Fevereiro de 2013 por João Rodrigues** Disponível em: <http://www.fcencias.com/2013/02/14/molecula-da-semana-molecula-amor/>. Acesso em 09 jan. 2018.

A ocitocina é um hormônio produzido na neuroipófise que atua inicialmente como modelador no cérebro. Esse hormônio tem papel importante na reprodução sexual, particularmente durante e após o parto. É liberada em grandes quantidades após a distensão do cérvix e do útero, facilitando o parto, os laços maternos entre mãe e filho e, após a estimulação dos mamilos, a amamentação.



Fonte da imagem: <http://www.fcencias.com/2013/02/14/molecula-da-semana-molecula-amor/>. Acesso em 09 jan. 2018.

A ocitocina é um polipeptídeo constituído por nove resíduos de aminoácidos. Seu nome sistemático é:

cisteiniltirosilileucilglutaminilasparaginilcisteinilprolileucilglicilamina

(cys – tyr – ile – gln – asn – cys – pro – leu – gly – NH₂)

Estudos recentes começaram a demonstrar o papel que a ocitocina desempenha em vários aspectos, incluindo orgasmo, reconhecimento social, laços afetivos, ansiedade, e comportamento materno. É por esse motivo que a ocitocina é também conhecida como a “molécula do amor”. Existem algumas evidências de que ela promove comportamento etnocêntrico, incorporando a confiança e empatia entre membros de certos grupos, e a suspeita e rejeição de estranhos. Além disso, alterações no gene receptor da ocitocina têm sido associadas a problemas de adaptação social e comportamento agressivo.

A ocitocina é um polipeptídeo constituído por nove aminoácidos. A forma biologicamente ativa da ocitocina apresenta uma ponta dissulfureto entre as duas cisteínas (forma oxidada), porém também existe na forma reduzida – a oxitocina. Acredita-se que a forma reduzida da ocitocina pode funcionar como antioxidante, doando elétrons a radicais livres. A estrutura da ocitocina é muito similar à da vasopressina.

A ocitocina apresenta funções hormonais periféricas e funções hormonais no cérebro. A sua ação sobre os tecidos é mediada por receptores específicos e com grande afinidade à ocitocina. Esse receptor é um receptor proteico associado à proteína G e requer a intervenção de Mg^{2+} e de colesterol.

As ações periféricas da ocitocina refletem-se principalmente na secreção da glândula pituitária, que intervém na ejeção do leite após o estímulo dos mamilos e tem papel fundamental nos partos, dado que promove as contrações durante a segunda e a terceira fases do parto.

A relação entre a ocitocina e a resposta sexual é ainda pouco clara. Pelo menos dois estudos não controlados registraram aumento na concentração de ocitocina no plasma quando ocorre o orgasmo – tanto no homem como na mulher. Os autores desses estudos especulam que o efeito da ocitocina pode facilitar o transporte, quer do ovócito, quer do ovo.

Além disso, a ocitocina evoca sensações de contentamento, redução da ansiedade e sensações de calma e segurança na presença do seu parceiro. Muitos estudos já demonstraram a correlação entre a ocitocina e a capacidade de nos relacionarmos com outros seres humanos. Um estudo confirmou a correlação positiva entre os níveis desse hormônio no plasma sanguíneo e o apego romântico (medido por meio de uma escala de ansiedade). Isso sugere que a ocitocina esteja relacionada com a inibição das áreas do cérebro relacionadas ao controle comportamental, ao medo e à ansiedade, permitindo a ocorrência do orgasmo.

Certas funções de aprendizagem e de memória são prejudicadas pela administração centralizada de ocitocina. Também prejudica a recuperação da memória para o caso de certas tarefas aver-sivas. Curiosamente, a ocitocina parece facilitar a aprendizagem e a memória especificamente para informação social.



Modelos moleculares com os quais é possível interagir. Disponível em: <<http://www.3dchem.com/index.asp>>. Acesso em 09 jan. 2018.

Animações interativas sobre a síntese de proteínas (em inglês). Disponíveis em: <<http://www.wisc-online.com/Objects/ViewObject.aspx?ID=AP1302>>. Acesso em 09 jan. 2018.

Animação interativa sobre a síntese de proteínas. Disponível em <<http://wiki.sj.ifsc.edu.br/wiki/images/6/68/Bio7.swf>>. Acesso em 09 jan. 2018.

Animação interativa produzida com base na mesma atividade que usamos para construir este roteiro de ação. Ela complementarará perfeitamente o roteiro. Disponível em: <<http://imagem.casadasciencias.org/online/37520818/37520818.php>> Acesso em 09 jan. 2014.

Acadêmicos dos Unidos da Proteína

“A Acadêmicos dos Unidos da Proteína está sempre pronta para desfilar. Afinal, na sede da escola o carnaval dura o ano inteiro! Muda o samba-enredo, mas o compositor está sempre lá, sempre ele, fonte quase inesgotável de ideias para novos desfiles.”

Essa poderia ser uma história sobre o carnaval, mas é sobre a nossa vida. E sobre a de todos os outros seres vivos também. É, na verdade, um momento importante do metabolismo de todos os organismos: a produção das proteínas, substâncias essenciais para a vida.

E o que as proteínas têm em comum com um desfile de escola de samba? Bem, na produção de proteínas existe um compositor, a molécula de DNA. E o samba-enredo, que é gravado em outra molécula, o RNA mensageiro. Seguindo esse samba-enredo, acontece o desfile. Dele participam vários integrantes da célula. As moléculas de RNA transportador, por exemplo, são como carros alegóricos carregando os destaques: os aminoácidos. São várias moléculas diferentes, movimentando-se de forma coordenada, no tempo certo.

Venha conhecer o desfile dos aminoácidos! Afinal, ele acontece dentro de nós. Vamos começar pelas ideias básicas? Elas vão ajudar a contar essa história.

O corpo de todos os seres vivos é formado por átomos, partículas muito pequenas que ainda podem ser divididas em porções menores. Na natureza, existem 92 tipos de átomos. Eles são como letras. Sabe por quê? As letras, em diversas arrumações, formam uma quantidade enorme de conjuntos que chamamos de “palavras”. Já os átomos se organizam de variadas maneiras, constituindo também uma infinidade de grupos diferentes. Nos seres vivos, os átomos mais comuns são carbono

(C), hidrogênio (H), oxigênio (O), nitrogênio (N), fósforo (P de *phosphorus*, em grego) e enxofre (S de *sulfur*, em latim).

Em muitos casos, a organização dos átomos é feita em grupos que chamamos de moléculas. Alguns desses conjuntos são formados por poucos átomos, e as moléculas são consideradas pequenas. É comum a reunião de muitas dessas pequenas moléculas, formando grandes grupos chamados de macromoléculas. As proteínas, que todos nós precisamos comer para crescer e manter o nosso corpo, são macromoléculas. Elas são agrupamentos de moléculas menores, os **aminoácidos**, que são formados por átomos de carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio e, às vezes, enxofre. O DNA, já estudado por nós, também é uma macromolécula. Mas as moléculas menores que o formam não são aminoácidos. São as bases nitrogenadas, ácido fosfórico e o açúcar desoxirribose.

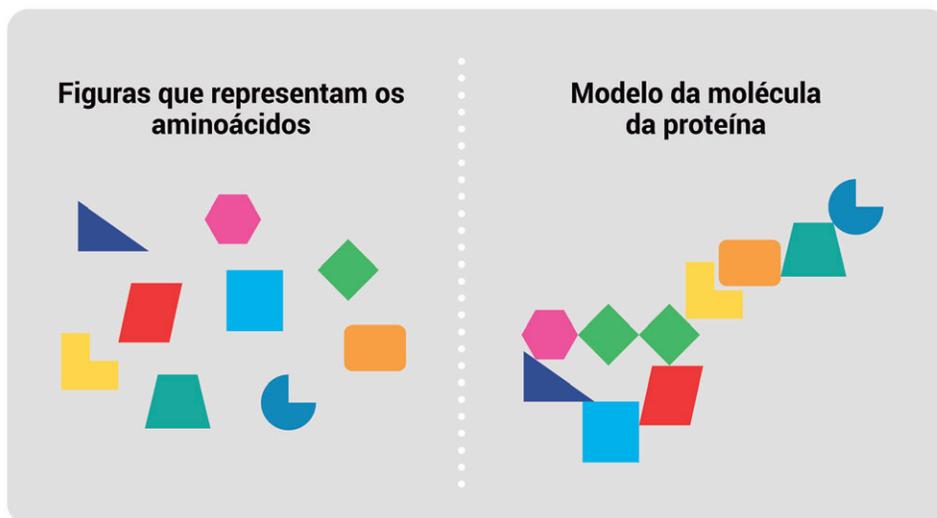


Figura 1: O esquema demonstra a união das pequenas moléculas, chamadas aminoácidos, para formar uma proteína

As proteínas formam grande parte da estrutura dos seres vivos e realizam importantes funções em nosso organismo. São, portanto, fundamentais para a nossa existência. Um bom exemplo é a hemoglobina, a proteína que fica no interior das nossas hemácias, que deixa o nosso sangue vermelho e transporta o oxigênio. E a insulina, a proteína que o pâncreas produz para ajudar a glicose (que conseguimos pela alimentação) a entrar nas células.

Como surgem essas e outras proteínas que existem em nosso corpo? Algumas pessoas responderiam: nós as comemos! Bem, isso é correto. Comemos proteínas. Porém, elas são quebradas durante a digestão. Assim, o que realmente aproveitamos são os aminoácidos, as pequenas moléculas que formam as proteínas. Usando esses aminoácidos, montamos nossas próprias proteínas. E como conseguimos fazer isso? Como as células montam as proteínas?

Esta é a razão desta atividade: ajudar você a entender como as células usam os aminoácidos vindos da alimentação e os fabricados pelo próprio organismo para montar proteínas. E talvez você concorde conosco: a síntese de proteínas é quase um desfile de carnaval!

Agora é necessária a montagem de modelos em papel. Eles serão muito importantes para o entendimento da fabricação de proteínas (síntese proteica).

Vamos preparar o material? Então, já para o barracão! Você pode se inspirar na criatividade dos carnavalescos e usar materiais comuns para conseguir efeitos diferentes. Por exemplo, experimente colar os modelos sobre papelão de caixa:

a) Recorte os modelos desenhados nas folhas em anexo. Repare que o modelo do RNA mensageiro está dividido em duas partes que devem ser coladas.

b) Pinte os modelos com cores diferentes, pois isso ajuda a visualização das peças e dos acontecimentos da síntese proteica.

Representando a síntese de proteínas

Para começar... Informações muito importantes!

- O RNA mensageiro (RNAm), os aminoácidos, o RNA transportador (RNAt) e o fator de terminação são moléculas de diferentes tipos e que funcionam de forma coordenada;

- O ribossomo é uma estrutura presente nas células, formada por muitas moléculas de outro tipo de RNA, o RNA ribossômico (RNAr).

Você não precisa ficar preocupado(a) em decorar esses nomes. Realize a atividade e entenderá o papel de cada molécula e do ribossomo na construção das proteínas.

1) Ligue, usando um miniclipe, a extremidade cinza (extremidade carboxila) de cada aminoácido ao RNAt correspondente. Para isso, consulte a tabela com o código genético. Mas atenção: a tabela mostra as trinças de bases do RNAm e o aminoácido correspondente. Para descobrir qual é o RNAt que corresponde a certo aminoácido, converta a trinca usando a regra de pareamento entre as bases:

Adenina – Uracila

Uracila – Adenina

Guanina – Citosina

Citosina – Guanina

		SEGUNDA BASE DO CÓDON					
		U	C	A	G		
PRIMEIRA BASE DO CÓDON	U	UUU Fenilalanina UUC UUA Leucina UUG	UCU Serina UCC UCA UCG	UAU Tirosina UAC UAA FIM UAG	UGU Cisteína UGC UGA FIM UGG Triptofano	U C A G	
	C	CUU Leucina CUC CUA CUG	CCU Prolina CCC CCA CCG	CAU Histidina CAC CAA Glutamina CAG	CGU Arginina CGC CGA CGG	U C A G	
	A	AUU Isoleucina AUC AUA AUG Metionina; INÍCIO	ACU Treonina ACC ACA ACG	AAU Asparagina AAC AAA Lisina AAG	AGU Serina AGC AGA Arginina AGG	U C A G	
	G	GUU Valina GUC GUA GUG	GCU Alanina GCC GCA GCG	GAU Ácido aspártico GAC GAA Ácido glutâmico GAG	GGU Glicina GGC GGA GGG	U C A G	
						TERCEIRA BASE DO CÓDON	

Código genético – Observe o códon **AUG**. Ele codifica o aminoácido metionina e marca por onde se inicia a síntese da proteína. Já os códons **UAA**, **UAG** e **UGA** indicam o final da molécula de RNAm e o término da síntese da proteína. Fonte: Tabela modificada de *Vida: a ciência da biologia*, vol. I, de David Sadava [et al.].

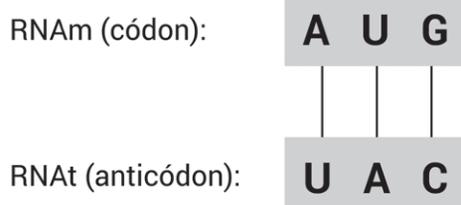
Veja um exemplo. Para descobrir qual é o RNAt do aminoácido metionina, consulte a tabela. Você verá que a metionina corresponde à trinca **AUG**. Essa é **a trinca do RNAm e se chama códon**.

RNAm (códon): **AUG**

Agora, você deve converter essa trinca para RNAt:

Adenina corresponde a **uracila**; **uracila** corresponde a **adenina**; **guanina** corresponde a **citocina**.

Pronto! O RNAt que você deve ligar à metionina (usando o miniclipe) é aquele que apresenta a trinca **UAC**. **A trinca do RNAt se chama anticódon**.

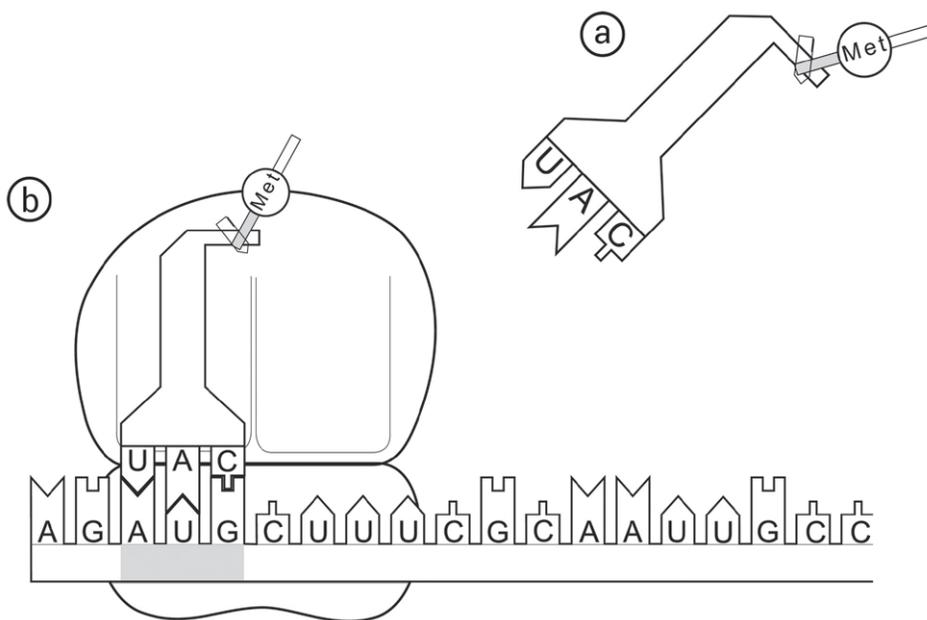


Não continue antes de ligar todos os aminoácidos aos seus RNA transportadores!

2) Agora, coloque o modelo de RNAm sobre o modelo do ribossomo, no sítio do RNAm. Faça isso de maneira que o códon de início do RNAm fique exatamente embaixo do sítio P.

3) Coloque o RNAt com a metionina no sítio P. Faça isso de modo que a trinca do RNAt (o anticódon) se encaixe com a trinca do RNAm (o códon de início). É assim que começa a síntese de uma proteína: usando os aminoácidos absorvidos pela alimentação e alguns que são fabricados pelo organismo.

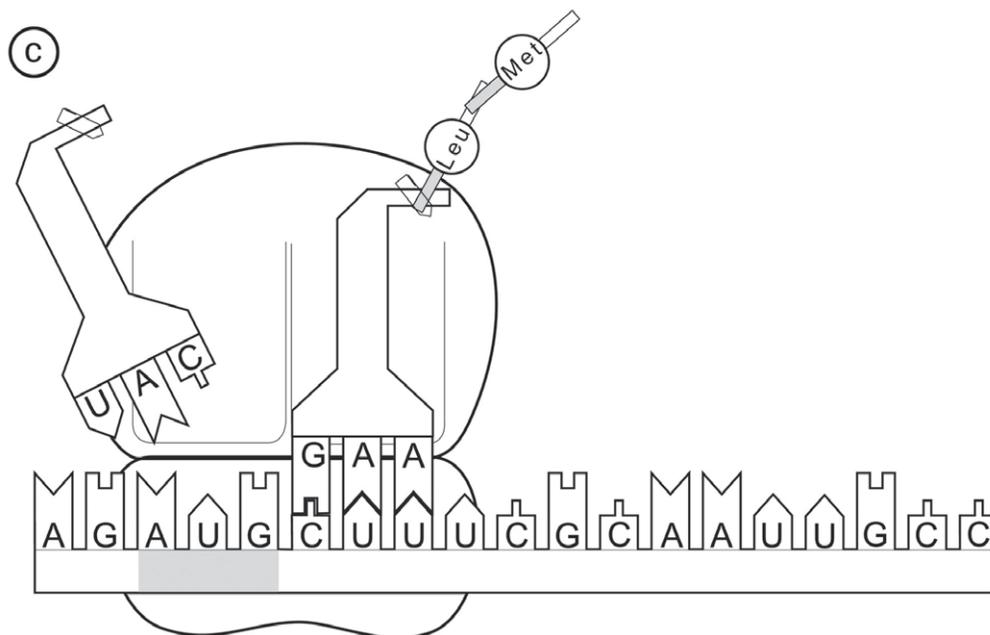
Veja uma representação dos itens 2 e 3:



4) Verifique qual é o códon localizado abaixo do sítio A. Coloque no sítio A o RNAt que possui o anticódon correspondente. Esse RNAt também carrega um aminoácido. Agora temos duas moléculas de RNAt encaixadas no RNAm. Cada uma delas carrega um aminoácido.

5) Tire o miniclipe e solte a metionina do seu RNAt. Use esse miniclipe para ligar a metionina (parte cinza) com a parte branca do segundo aminoácido. Esse é o início da cadeia de aminoácidos que irá formar uma proteína.

Observe a ilustração:

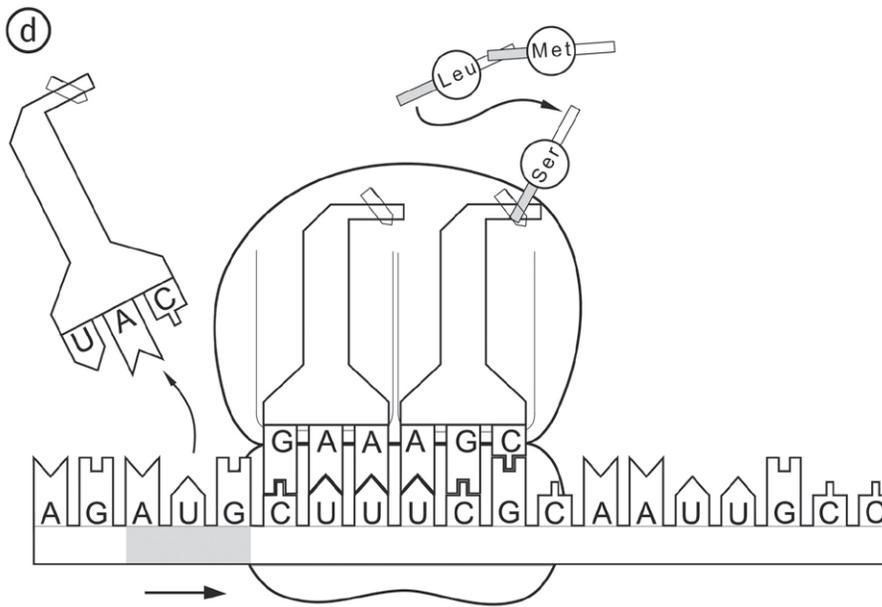


6) Agora, deslize com cuidado o ribossomo para a direita. Faça isso de maneira que o RNAt com o anticódon UAC fique fora do ribossomo e o outro RNAt fique no sítio P.

7) Nesse momento, o sítio A ficará vazio. Encontre o RNAt que deve ocupar esse sítio, verificando qual trinca do RNAm (códon) está abaixo do sítio A. Coloque esse RNAt, com seu aminoácido correspondente, no sítio A.

8) Mais uma vez, vamos mover os aminoácidos. Retire os dois aminoácidos do RNAt que está no sítio P. Ligue a extremidade cinza do segundo aminoácido à extremidade branca do aminoácido do outro RNAt. A metionina deve continuar sendo o primeiro aminoácido até o final. Agora a cadeia possui três aminoácidos.

O esquema mostra como deve ficar o modelo:



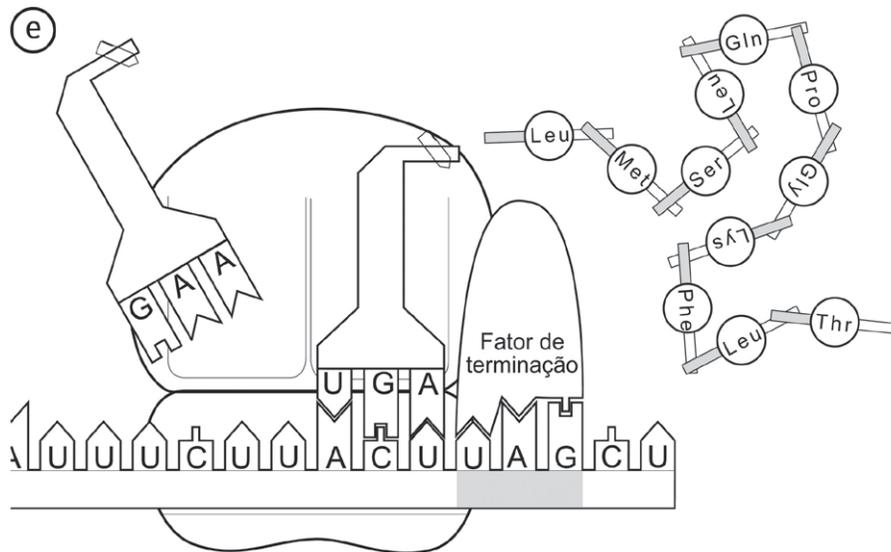
9) Repita o deslizamento do ribossomo para a direita, deixando o sítio A vazio e retirando do modelo o RNAt sem aminoácidos ligados.

10) Novamente, encaixe o RNAt com o anticódon correspondente ao códon do RNAm que está abaixo do sítio A. Depois, repita a passagem dos aminoácidos do RNAt que ocupa o sítio P para o RNAt que ocupa o sítio A.

11) Vá construindo a cadeia de aminoácidos até que o códon de término do RNAm fique abaixo do sítio A. Então encaixe a peça que representa a molécula chamada de fator de terminação. Esse encaixe determina o fim da tradução da mensagem do RNAm em uma cadeia de aminoácidos.

12) Separe a cadeia de aminoácidos do último RNAt.

Observe o esquema da cadeia de aminoácidos se desligando do último RNAt.



13) Essa cadeia formará uma proteína. Isso acontecerá quando diferentes partes dessa cadeia se aproximarem e se ligarem. A cadeia ficará dobrada e terá uma forma tridimensional. Essa forma será essencial para a função da proteína.

14) Transforme a cadeia de aminoácidos montada (polipeptídeo) em uma proteína. Faça assim:

- Retire a metionina, use um miniclipse para ligar os dois aminoácidos cisteína.
- Ligue o grupamento NH₂ com a glutamina usando um miniclipse.

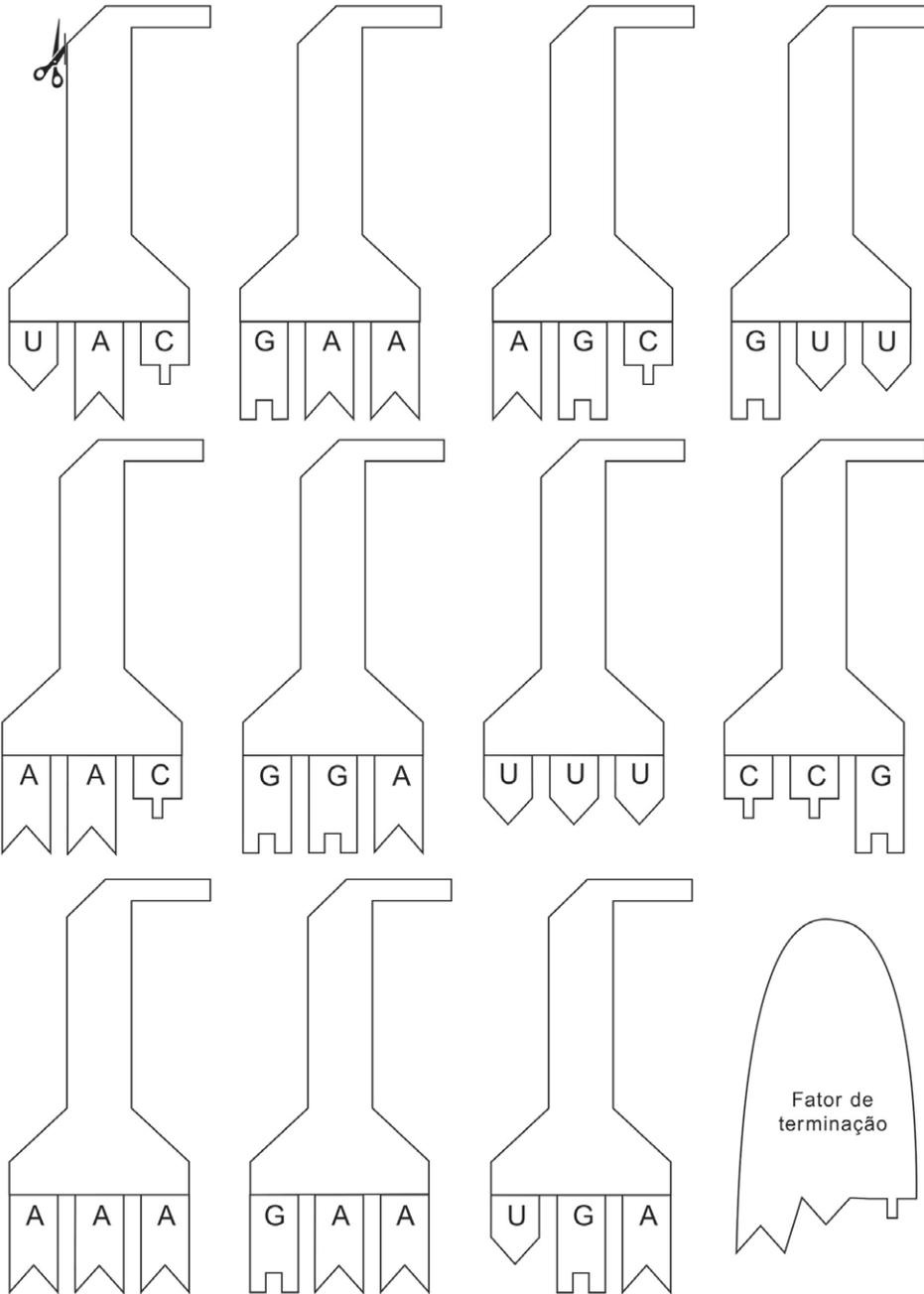
15) Depois de executar essas modificações, você terá o modelo de uma proteína humana. Sim, é o modelo de uma molécula real! É o hormônio ocitocina.

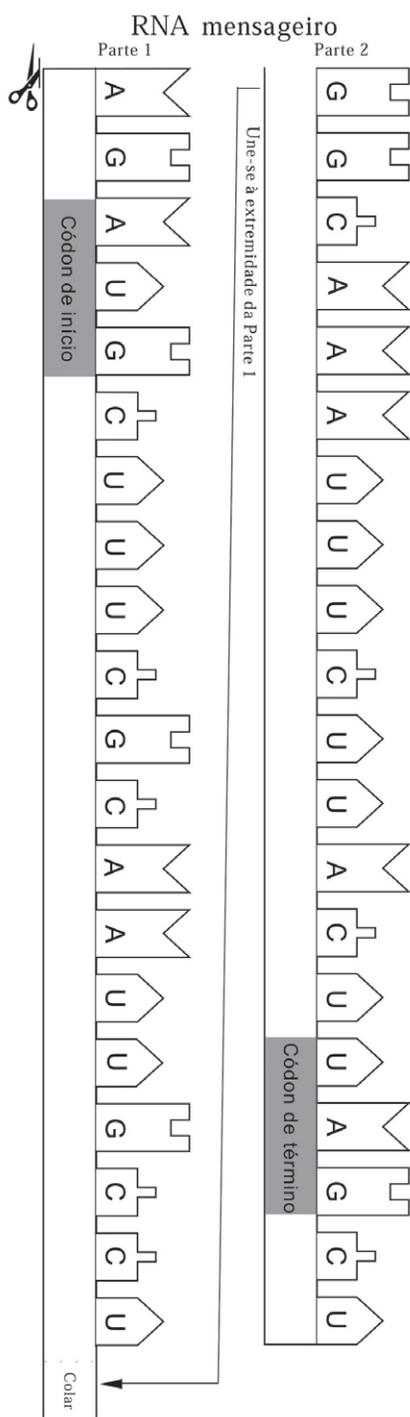
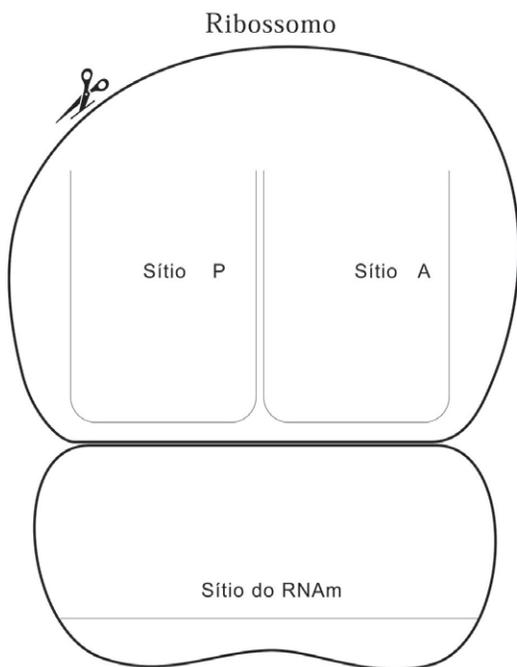
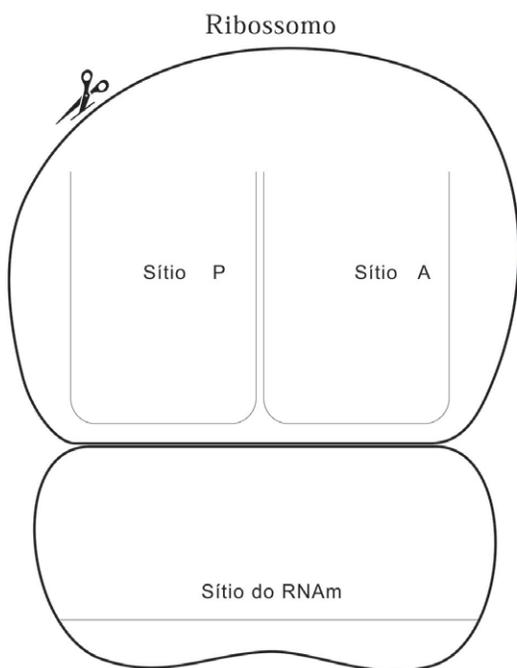
A ocitocina é produzida pelo hipotálamo. Depois, é transportada para a hipófise. Quando uma mulher entra em trabalho de parto, a hipófise libera ocitocina que estimula as contrações uterinas, auxiliando o nascimento do bebê. A ocitocina também age desencadeando a liberação de leite. A visão e os sons do bebê podem causar na mãe a secreção de ocitocina e a liberação de leite. Esse é um bom exemplo de como o sistema nervoso integra informações e contribui para o controle dos processos mediados por hormônios.

Folha para recortar

Moléculas de RNA transportador e fator de terminação

©Amabis e Martho/Editora Moderna - Reprodução autorizada





Modelos de aminoácidos e grupamento NH₂

Professor, para elaboração desta atividade, utilizamos as seguintes referências:

AMABIS, J. M.; MARTHO, G. R. Trabalhando temas fundamentais: código genético e síntese de proteínas. **Temas de Biologia – Propostas para desenvolver em sala de aula**. São Paulo: Moderna, 1998. Número 7.

SADAVA, D.; HELLER, H. C.; ORIANI, G. H.; PURVES, W. K.; HILLIS, D. M. **Vida: a ciência da Biologia**. Trad. Carla Denise Bonan. 8ª ed. 3 v. Porto Alegre: Artmed, 2009.

Unidade 3

CONTROLE DA EXPRESSÃO GÊNICA

Neste texto base vamos discutir novos conhecimentos sobre o controle da expressão gênica. O que queremos dizer com isso? Não estamos apenas nos referindo à ativação e à desativação diferencial dos genes. Queremos mostrar também que a própria célula é capaz de perceber variações do ambiente e determinar quais genes serão expressos e em que velocidade. Esse aspecto da regulação gênica está praticamente ausente nos livros didáticos, mas gostaríamos de aproveitar a oportunidade para realçar sua importância no Ensino Médio.

Normalmente, os professores advertem seus alunos de que um fenótipo é consequência da interação do genótipo com o ambiente (fenótipo = genótipo + influências ambientais). Mas de que forma essas influências ambientais interferem na expressão do genótipo? Alguns livros didáticos comentam a existência de genes reguladores, mas esquecem de mostrar a interação deles com as variações ambientais. Dessa forma, o gene só é visto pelo aluno como um depósito de informação para gerar proteínas ou RNA. Sua função como intérprete do ambiente fica esquecida.

Acreditamos que, se trabalharmos com os alunos modelos simples de regulação da expressão gênica, a equação "*fenótipo = genótipo + influências ambientais*" ficará mais clara. Dessa forma, será mais fácil entender por que, por exemplo, gêmeos univitelinos acabam por desenvolver diferenças físicas e comportamentais.

Como discutimos anteriormente, o DNA é a molécula que guarda a informação genética, que será transmitida ao longo das gerações. Vimos de que forma o DNA, com uma estrutura tão simples (duas cadeias formadas por apenas quatro tipos de nucleotídeos – adenina, timina, citosina e guanina), guarda a informação genética. Também vimos como as células utilizam a informação genética para produzir proteínas: as células transcrevem, em forma de RNA, a informação contida em segmentos específicos do DNA, conhecidos como genes. Em eucariotos, essa molécula, após sofrer processamento, é exportada para o citoplasma, e, nos ribossomos, a mensagem contida no RNAm é traduzida em proteínas.

No entanto, se o mecanismo e o conteúdo genético são os mesmos em todas as células de nosso organismo, como pode haver células tão diferentes? Se compararmos um adipócito com uma célula muscular, por exemplo, veremos que elas em nada se parecem; a primeira impressão é de que

elas possuem genomas diferentes. Antigamente pensava-se que, durante o processo de diferenciação, alguns genes seriam seletivamente perdidos; hoje, porém, sabe-se que as diferenças são causadas pelo conjunto de genes que cada célula expressa, ou seja, informações diferentes são acessadas de uma mesma “biblioteca”.

Só para termos uma ideia: cada célula humana expressa em média apenas de 30 a 60% de seus aproximadamente 25.000 genes. Existem duas famílias distintas de genes:

(1) Genes constitutivos (ou *housekeeping genes*) - Todas as células do organismo expressam proteínas que são essenciais para a manutenção da vida. Eles expressam proteínas tais como proteínas dos cromossomos, RNA polimerase, proteínas ribossomais e várias proteínas do citoesqueleto.

(2) Genes regulados - Nem todos os genes se expressam ao mesmo tempo e em todas as células, sendo expressos em apenas algumas células ou em momentos específicos. Esses são os genes regulados.

De fato, quando comparamos o padrão de expressão dos diferentes tipos celulares, observamos que não apenas genes diferentes são expressos como também os níveis de expressão, ou seja, a quantidade de proteínas produzidas é muito variada de uma célula a outra.

Esse padrão de expressão de RNAm, característico de cada tipo celular, pode ser muito útil para diagnosticar a origem tecidual de células cancerígenas humanas. Assim, os variados tipos celulares em nosso organismo se tornaram diferentes um do outro porque sintetizam e acumulam diferentes conjuntos de RNA e proteínas. Nesse caso, todos os genes são mantidos, mas proteínas específicas ao tipo celular são expressas. Isso quer dizer que algumas proteínas são abundantes apenas em células especializadas e indetectáveis em outras, como a hemoglobina, presente em hemácias.

A regulação genética não é apenas a base da diferenciação celular, mas também permite que as células tenham versatilidade, adaptabilidade e enfrentem as variações ambientais, como disponibilidade de nutrientes, invasão de agentes infecciosos e mudanças no estado de desenvolvimento da célula. Dessa forma, o mesmo tipo celular, em momentos distintos, pode apresentar diferenças tanto nas proteínas expressas quanto nos níveis de sua expressão, ou seja, nas quantidades de proteínas produzidas.

Podemos resumir um pouco do que falamos com um exemplo específico. A insulina em nosso organismo é produzida apenas pelas células β do pâncreas, embora o núcleo de todas as células do corpo contenha o gene da insulina. Durante o desenvolvimento do organismo, a presença de proteínas em tipos celulares específicos é estreitamente controlada. Esse hormônio é liberado quando há grandes quantidades de açúcar na corrente sanguínea. As células do fígado, por exemplo, respondem a esse hormônio destas formas:

- aumentando a transcrição de genes envolvidos na síntese de ácido graxo (que estão relacionados ao processo metabólico que armazena lipídeos).
- diminuindo a atuação dos genes de enzimas chave da via da gliconeogênese (produção de carboidrato a partir de compostos aglicanos – que não são da família química dos carboidratos, como os aminoácidos).

Entender os mecanismos moleculares que regulam a expressão gênica é, hoje, uma das problemáticas mais ativas da pesquisa bioquímica. A regulação pode ser feita em diferentes etapas do caminho “DNA – RNA – proteína”.

Como discutimos anteriormente, existem muitas etapas para a produção de proteínas, e todas elas são pontos importantes para a regulação da expressão das proteínas corretas no momento oportuno. Sabemos que essa regulação pode ocorrer em qualquer uma destas etapas (figura 1):

- 1) **Transcricional** – controla quando e como o gene é transcrito;
- 2) **Processamento do RNA** – retirada dos íntrons;
- 3) **Transporte e localização do RNA** – controla quais RNA serão transportados para o citoplasma e onde serão traduzidos;
- 4) **Traducional** – define quais RNAm serão traduzidos;
- 5) **Degradação do RNAm** – desestabiliza seletivamente o RNAm;
- 6) **Atividade proteica** – controla destino e ativação das proteínas formadas;
- 7) **RNA de interferência** – leva à degradação do RNAm.

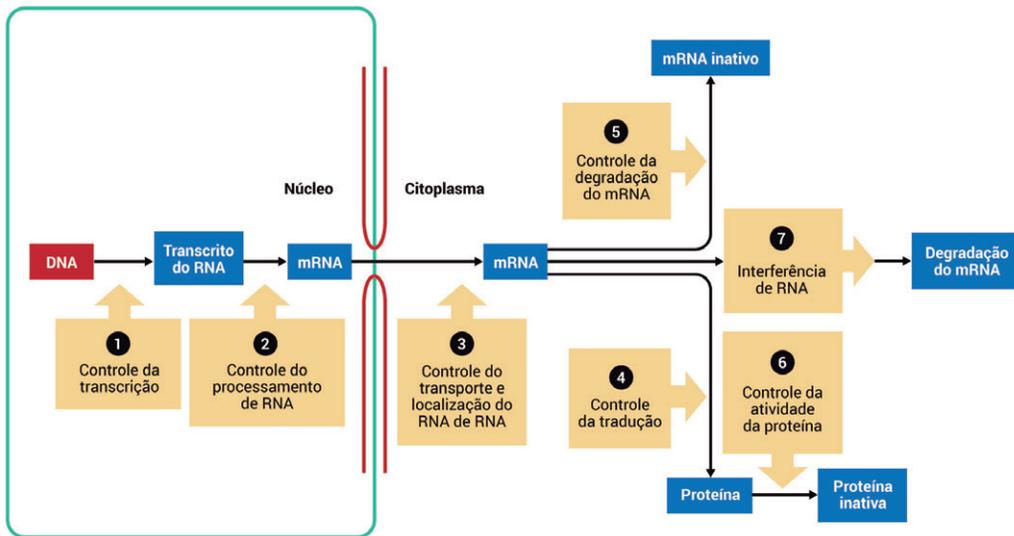


Figura 1: Diferentes etapas da regulação da expressão gênica.

Fonte: Adaptação de ALBERTS, B.; JOHNSON, A.; LEWIS, J.; RAFF, M.; ROBERTS, K.; WALTER, P. *Biologia Molecular da Célula*. 5ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2010. Fig. 7.5, p. 415.

O principal controle exercido para a maioria dos genes é o transcricional, ou seja, a “Etapa 1”, uma vez que ele impede a síntese de produtos intermediários pela célula.

É importante você saber que, em função de diferenças na estrutura das células de procariontes e eucariotes, esses organismos desenvolveram estratégias diferentes para regular a síntese de proteínas. Os procariontes não possuem núcleo individualizado nem organelas delimitadas por membranas, como os eucariotes; por esse motivo, nesses organismos a forma de regular a expressão gênica não apresenta algumas das etapas apontadas, como a 2 e a 3.

Você pode explorar mais as diferenças entre procariontes e eucariotes acessando a animação interativa disponível em:
<http://portaldoprofessor.mec.gov.br/storage/recursos/10547/eucariotoxprocarियोto.swf>
 Acesso em 11 jan. 2018.

Sabe-se muito mais sobre a regulação gênica em procariontes do que em eucariotes, que possuem mecanismos regulatórios mais complexos. Um dos primeiros estudos para decifrar como ocorria a regulação da expressão dos genes foi feito em 1961 por dois pesquisadores franceses, François Jacob e Jaques Monod. Eles estudaram, em *Escherichia coli*, como ocorre a regulação de gene que codifica a produção de β-galactosidase (a enzima que degrada a lactose).

A lactose é um açúcar abundante no leite; muitas pessoas apresentam intolerância a ela, justamente por possuírem quantidade insuficiente da enzima β -galactosidase. A *E. coli* contém genes para cerca de 4.300 proteínas diferentes, mas será que todos esses genes são sintetizados ao mesmo tempo?

Quando a bactéria cresce em um meio contendo glicose, apenas aproximadamente cinco moléculas da enzima β -galactosidase estão presentes na célula. De certa forma, podemos pensar que seria um desperdício de energia e de aminoácidos, para a célula, produzir grande quantidade da enzima sem que haja seu substrato no meio. No entanto, quando a lactose é adicionada e não há glicose no meio, há uma rápida mudança neste quadro: 5.000 ou mais moléculas da enzima β -galactosidase são detectadas na célula. Ou seja, quando as células precisam metabolizar a lactose, há um aumento da expressão desse gene; se ela for removida do meio, a célula “desliga” a síntese da enzima β -galactosidase. Isso pressupõe que os estímulos do meio onde se encontram as células podem modificar o padrão de expressão gênica.

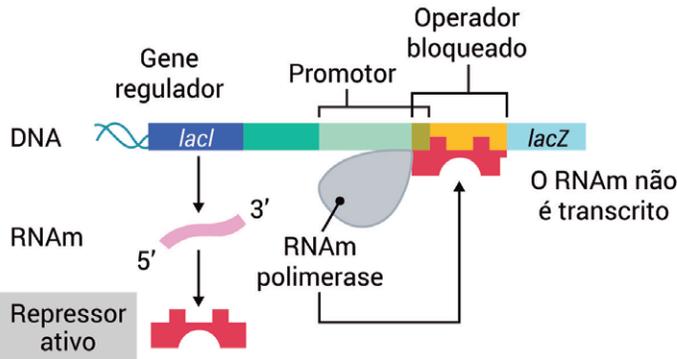
Vamos ver como isto ocorre!

Nas bactérias, os genes encontram-se organizados em forma de “operon”, que corresponde a uma unidade de expressão e regulação gênica onde estão contidos todos os genes e elementos de controle requeridos para determinada via metabólica. Para responder à presença de lactose, por exemplo, as bactérias utilizam o operon Lactose. Esse operon é formado por três genes estruturais (Figura 2):

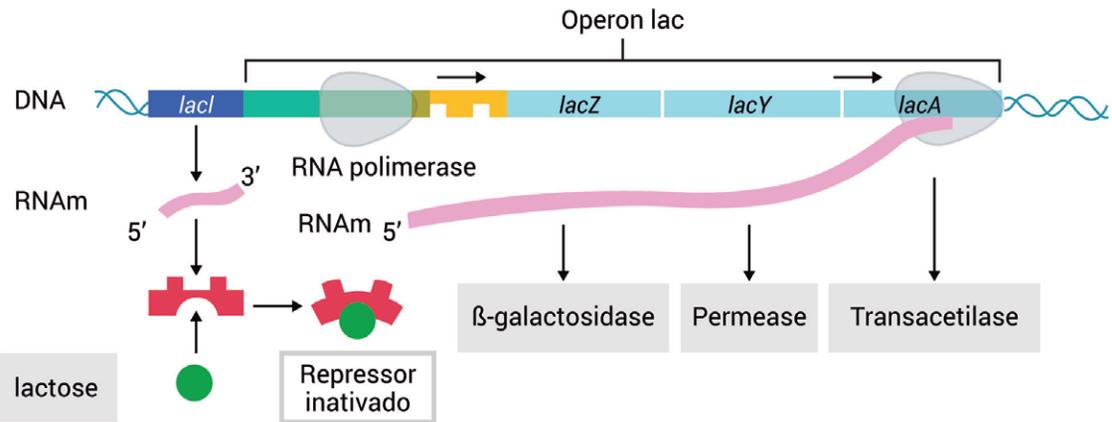
- **lacZ**, que codifica a enzima β -galactosidase (a lactase é uma subclasse dessa família de enzimas);
- **lacY**, que codifica transportadores de membrana de β -galactosídeos (permeases);
- **lacA**, que codifica a transacetilase de β -galactosídeos (enzima que transfere um grupamento acetil de um composto para outro).

A transcrição fica bloqueada quando a proteína repressora de lac se liga a uma sequência de DNA chamada de operador, que se localiza imediatamente antes do gene lacZ, impedindo que a RNA polimerase possa transcrever o operon. A proteína repressora é traduzida a partir outro gene da bactéria; sua função é impedir que a RNA polimerase faça a transcrição dos genes do operon lac. Porém, quando há lactose no meio, essa molécula se liga ao repressor e faz com que ele se desprenda do operador, deixando a RNA polimerase livre para se ligar ao promotor e iniciar a transcrição dos genes lac. Assim, a síntese das três enzimas é induzida na presença de lactose. Na verdade, esse processo de regulação gênica ainda está sujeito à ausência de glicose no meio, açúcar que a bactéria consome preferencialmente (repressão catabólica).

Você poderá ver um maior detalhamento do processo sobre a transcrição dos genes do operon lac na animação interativa disponível no portal Teca.
<http://teca.cecierj.edu.br/popUpVisualizar.php?id=46383>. Acesso em 11 jan. 2018.



a) Lactose ausente, repressor ativo, operon lac desligado



b) Lactose presente, repressor inativado, operon lac ligado

Figura 2. O operon lactose.

Fonte: Adaptação de CAMPBELL, N. A.; REECE, J. B.; MITCHELL, I. G.; TAYLOR, M. R. Biology. 5ª ed. Benjamin-Cummings Pub., 2002, Fig. 18.20, p. 338.

Em eucariotos, a regulação é um pouco mais complexa; uma boa forma de observar como ela ocorre é conhecer o mecanismo que controla o **relógio circadiano**. Todos os organismos que habitam o planeta possuem um “relógio sem ponteiros” que controla a atividade de predação, o ritmo de picada dos mosquitos, o dormir e acordar dos mamíferos e até o abrir e fechar de folhas e flores das plantas. Esse relógio corresponde a um grupo específico de células que expressa um conjunto próprio de genes e proteínas.

As primeiras evidências da existência do relógio vieram dos trabalhos do astrônomo francês Jean Jacques d’Ortous de Mairan com a “dormideira” (*Mimosa pudica*), que revelaram um mecanismo interno que era capaz de preparar o organismo para as oscilações ambientais. Para confirmar sua hipótese, De Mairan colocou a planta dentro de uma caixa de madeira, que não permitia a entrada da luz, por vários dias. Ele observou que, na fase correspondente ao dia, a planta abria suas folhas e, na fase correspondente à noite, ela fechava as folhas. Ele concluiu, então, que, mesmo quando um organismo é isolado de qualquer indicador de passagem de tempo (nesse caso, a luz), o ritmo de abrir e fechar as folhas persistia.

O oscilador interno capaz de controlar o ritmo circadiano ficou conhecido como “relógio circadiano”; ele controla desde aspectos fisiológicos, em seres unicelulares, até os comportamentos mais complexos dos mamíferos.

O tique-taque do relógio ocorre por meio do controle transcricional, quando os genes são regulados pelos próprios produtos, o que é chamado de “circuito de retroalimentação transcricional”.

A regulação principal ocorre com base na acumulação das proteínas PER (*period*) e TIM (*timeless*) no citoplasma celular, ao longo da noite (Figura 3). Ao atingirem níveis elevados no citoplasma, essas proteínas se associam e entram no núcleo. Uma vez no núcleo, desligam suas próprias transcrições e, dessa forma, os níveis de PER e TIM vão se reduzindo gradativamente até que não haja mais proteínas suficientes para reprimir a transcrição, e um novo ciclo recomeça.

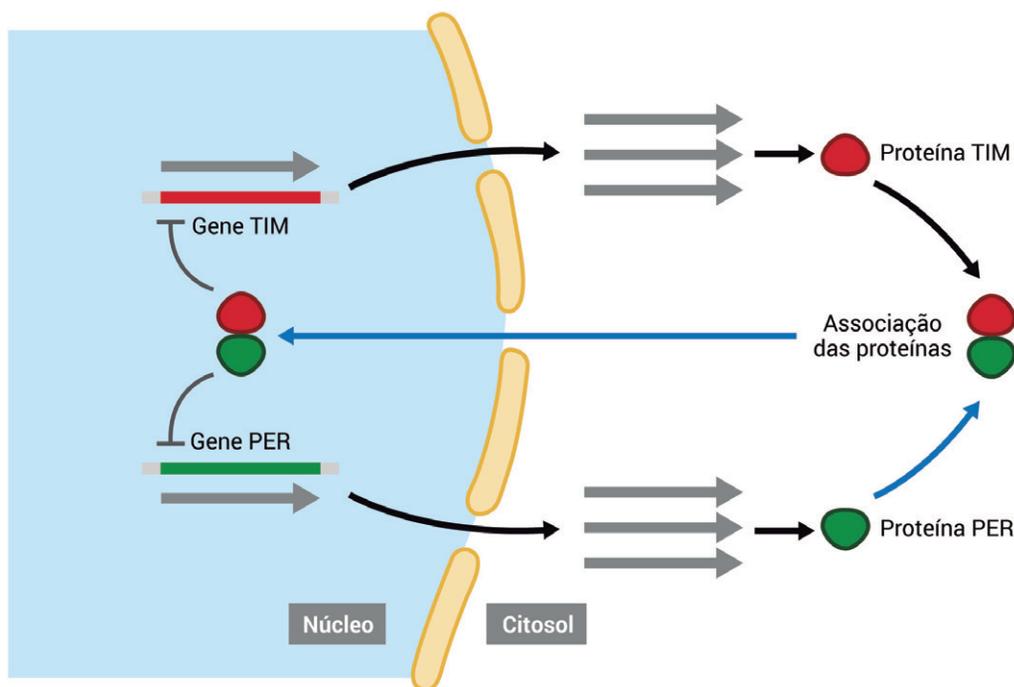


Figura 3: Mecanismo simplificado do relógio circadiano em células de *Drosophila*. O acúmulo das proteínas TIM e PER no citosol, ao longo da noite, faz com que elas se associem e entrem no núcleo. Lá, elas desligam suas próprias transcrições, provocando a diminuição de suas concentrações na célula a ponto de não mais reprimir a sua transcrição. Assim, um novo ciclo começa, com o desprendimento dos ativadores do DNA. O processo leva em torno de 24h.

Fonte: Adaptação de ALBERTS, B.; JOHNSON, A.; LEWIS, J.; RAFF, M.; ROBERTS, K.; WALTER, P. *Biologia molecular da célula*. 5ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2010. Fig. 7.73, p. 462.

Concentramos nossas atividades durante a fase luminosa (fotofase) e repousamos à noite (escotofase). Contudo, existem variações pessoais importantes: algumas pessoas são matutinas, sentem sono muito cedo e acordam muito cedo também; outras são vespertinas, dormem e acordam tarde; e há os intermediários, que se adaptam bem a qualquer horário. Saber essa informação pode ajudar você a programar a melhor hora de estudo, por exemplo, escolhendo para isso a hora em que estiver mais desperto.

Por outro lado, desrespeitar esse ritmo pode trazer consequências para a saúde. Indivíduos cuja profissão inclui trocar o dia pela noite podem sofrer uma patologia conhecida como “Distúrbio dos trabalhadores em turnos”. Essa doença é caracterizada por insônia ou um sono não reparador e sonolência durante o horário de trabalho. Esse distúrbio, além de reduzir a qualidade de vida, gera sintomas como mal-estar, fadiga, irritabilidade, distúrbios cardiovasculares e gastrointestinais, além de aumentar o risco de acidentes.

Neste texto base, nós acompanhamos dois processos de regulação gênica um em procarionto e outro em eucarioto. Os exemplos mostrados trataram do tipo mais frequente de regulação da

expressão - a transcricional. Essa forma ocorre com maior frequência porque impede que produtos intermediários desnecessários sejam produzidos, uma vez que o processo está no início. Porém há muitos outros mecanismos de regulação que ocorre antes da transcrição, tais como remodelagem da cromatina, assim como outros pós transcricionais.



Caso queira se aprofundar neste assunto, visite:

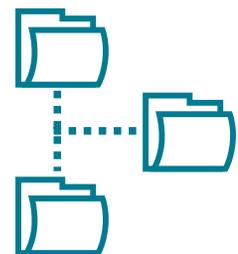
SINOPSE DO CONTROLE DA EXPRESSÃO GÊNICA EM EUCARIOTOS. Disponível em: <http://genmol.blogspot.com.br/2011/09/genetica-molecular-sinopse-do-controle.html>. Acesso em 11 jan. 2018.

INTERFERÊNCIA DE RNA. Disponível em: http://www.cienciahoje.org.br/noticia/v/ler/id/2351/n/interferencia_de_rna_da_premio_a_norte-americanos. Acesso em 11 jan. 2018.

Roteiro de Ação 4

Controle da expressão gênica

Para finalizar propomos o Roteiro de ação 4 onde você irá trabalhar em sala de aula o tema “controle da expressão gênica” por meio de um estudo dirigido para que os alunos reflitam sobre esse mecanismo e a sua importância.



Roteiro de Ação 4

Controle da expressão gênica

Duração prevista: 50 minutos.

Área de conhecimento: Biologia

Assuntos: Controle da expressão gênica.

Objetivo: Entender os mecanismos de ação e a importância do controle da expressão gênica.

Pré-requisitos: Conhecimento sobre: estrutura do DNA, transcrição, tradução, noção de gene molecular.

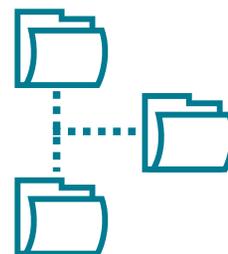
Material necessário: Livros e anotações de aula.

Organização da classe: grupos de dois a três alunos.

Descritores associados:

H13 – Reconhecer mecanismos de transmissão da vida, prevendo ou explicando a manifestação de características dos seres vivos.

H14 – Identificar padrões em fenômenos e processos vitais dos organismos, como manutenção do equilíbrio interno, defesa, relações com o ambiente, sexualidade, entre outros.



Professora, professor, a proposta deste roteiro de ação é trabalhar em sala de aula o tema “controle da expressão gênica” por meio de um estudo dirigido para que os alunos reflitam sobre o mecanismo e a sua importância.

CONTROLE DA EXPRESSÃO DOS GENES

Começemos a aula de hoje, recordando o que já foi visto nas passadas.

1. Qual é exatamente o resultado da expressão da informação contida num gene?

Professora, professor, o objetivo dessa questão é levar o aluno a perceber que o resultado da expressão da informação contida em um gene é a síntese de proteínas. Ela está diretamente relacionada ao texto que vem em seguida. Caso queira lembrar com seus alunos a síntese de proteínas, sugerimos:

Síntese de proteínas. Disponível em: <http://www.youtube.com/watch?v=tZcsTfKtEYo>. Acesso em 11 jan. 2018.

{ RESPOSTA COMENTADA }

Mas será que a expressão de um gene (o tipo e a quantidade de proteínas produzidos por ele) deve-se unicamente à sua presença no material genético de uma célula? Em outras palavras, a presença de um gene em uma célula é suficiente para que as enzimas transcrevam e traduzam essa informação em uma proteína?

Já vimos que estão as informações para a síntese de proteínas nos genes. Agora, vamos pensar nas células do nosso corpo, as células musculares, as da nossa pele, do fígado e os nossos neurônios. Elas são muito diferentes entre si; no entanto, possuem o mesmo material genético.

Então vamos continuar.

2. Como diferentes células de um mesmo organismo, possuindo o mesmo material genético, podem ser tão diversificadas?

Dica: lembre-se de que, à medida que novas células são produzidas a partir do zigoto, elas alteram o ambiente ao redor delas e das demais células preexistentes.

Professor, não esperamos que o aluno consiga neste momento responder a essa questão. A ideia é que ele fique motivado a aprender. Retornaremos esse questionamento ao final do roteiro de ação.

{ RESPOSTA COMENTADA }

Na internet ou em uma biblioteca, temos acesso a uma enorme variedade de informações. Mas certamente você e seus colegas não visitam os mesmos sites ou leem os mesmos livros com a mesma frequência. Da mesma forma, as nossas células podem acessar um acervo de informações variado com diferente frequência. Mas como isso é controlado?

Em 1961, dois pesquisadores franceses, François Jacob e Jaques Monod, estudaram como ocorria a regulação da expressão dos genes em bactérias. A pesquisa deles foi tão importante que ganharam o Prêmio Nobel de Medicina e Fisiologia em 1965, junto com outro francês, André Lwoff! Vamos, então, conhecer um pouco dessa história.



Figura 1: François Jacob

Fonte: Disponível em: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/8/8b/Fran%C3%A7ois_Jacob_nobel.jpg/220px-Fran%C3%A7ois_Jacob_nobel.jpg. Acesso em 11 jan. 2018.

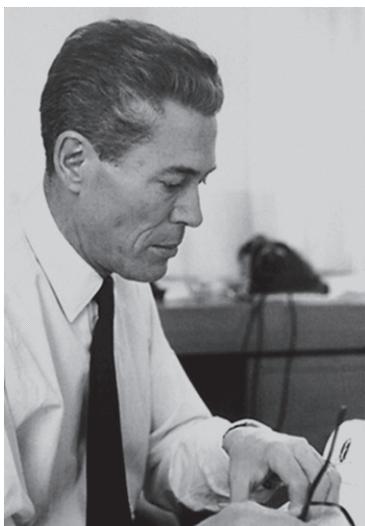


Figura 2: Jacques Monod

Disponível em: https://en.wikipedia.org/wiki/File:Jacques_Monod_nobel.jpg.
Acessado em 11 jan. 2018.

Jacob e Monod estudaram a produção de lactase (uma enzima que degrada a lactose) pela bactéria *Escherichia coli*.

Você já ouviu falar de lactose, não? Existem várias pessoas que têm intolerância a esse açúcar, presente no leite. Se você nunca ouviu falar nisso, comece a prestar atenção quando for ao supermercado e veja que há vários produtos (leite, chocolate...) que são feitos sem lactose, justamente para essas pessoas que não podem consumir esse açúcar, porque possuem quantidade insuficiente da enzima lactase.



Figura 3: Há produtos especialmente fabricados para agradar ao público que não pode ou não quer ingerir lactose. Esse é o caso, por exemplo, de iogurtes e leites.

Nas embalagens, lemos "lactose free", ou seja, "sem lactose".

Fonte: Disponível em: <http://www.flickr.com/photos/theimpulsivebuy/6839793525/>. Acesso em 11 jan. 2018.

Disponível em: <http://www.flickr.com/photos/joelgon/8592708610/>. Acesso em 11 jan. 2018.

A bactéria **E. coli**, assim como nós, utiliza o açúcar lactose como forma de produzir energia para a célula. Só que esse carboidrato nem sempre está presente no meio onde ela vive.

3. Vamos pensar juntos: se o meio não tem esse carboidrato disponível para a bactéria, haveria alguma desvantagem para a célula produzir a enzima que o degrada?

Dica: pense em tudo que a célula precisa para produzir uma proteína.

Professor, professora, essa questão é para que o aluno reflita sobre o investimento energético da célula para produzir proteínas. Para sintetizá-las, são gastos aminoácidos e moléculas de ATP; portanto, produzir a enzima sem que o carboidrato esteja disponível levaria a célula a um gasto desnecessário de energia.

De fato, a célula não desperdiça energia. O gene que contém a informação para produzir a lactase – enzima necessária para transformar a lactose em energia – fica constantemente bloqueado por uma proteína específica, chamada de “repressora”. Essa proteína é traduzida por outro gene da bactéria e impede que a RNA polimerase faça a transcrição do gene que produz a lactase.

Porém, quando é adicionada lactose no meio em que estão essas células, é hora de produzir a enzima lactase para poder aproveitar esse nutriente, certo? Vamos ver como isso acontece: as moléculas desse açúcar (lactose) associam-se reversivelmente com proteínas repressoras, mudando sua conformação e dificultando sua ligação ao gene da lactase, ou seja, anulando sua atividade repressora. Dessa forma, o gene da lactase fica livre para ser transcrito pela RNA polimerase. Assim, os RNAs mensageiros da lactase começam a ser transcritos e posteriormente traduzidos. Consequentemente, a lactase é produzida, o que leva à quebra da lactose e à produção de energia para a célula.

Veja a Figura 4 para entender melhor esse processo.

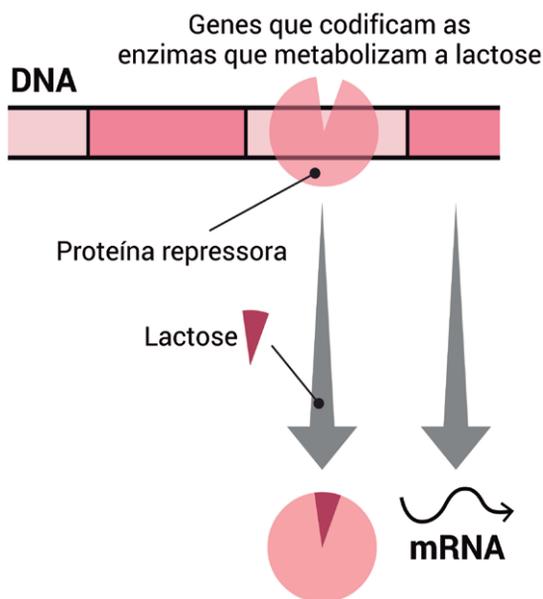


Figura 4: Esquema que representa a produção do RNAm da lactase. A forma circular representa a proteína repressora. Quando não há lactose no meio, ela se liga aos genes que sintetizam a lactase, e o RNAm não é transcrito. Quando há lactose no meio (representada pela forma que parece uma fatia de pizza), a proteína repressora não se liga mais aos genes e o RNAm da lactase é transcrito.

{ RESPOSTA COMENTADA }

4 a. Na situação em que há lactose abundantemente no meio em que a célula vive, haverá produção de lactase?

4 b. Em seguida, o que acontecerá com a concentração de lactose no meio?

Professor, professora, esse quarto questionamento teve o objetivo de trabalhar o mecanismo de regulação do operon lac.

Na letra "a", o aluno vai perceber que haverá produção de lactase quando a lactose estiver presente no meio, pois a lactose se associará à proteína repressora, mudando sua conformação e anulando sua atividade repressora. Dessa forma, os genes da lactase ficaram livres para serem transcritos pela RNA polimerase.

Na letra "b", o aluno vai relacionar a atividade da lactase sobre a lactose. Ele deve perceber que a concentração de lactose vai ser gradativamente reduzida, pois a enzima produzida vai transformá-la em energia.

{ RESPOSTA COMENTADA }

5 a. Quando faltar lactose no meio, como ficará a produção de lactase?

5 b. Qual a importância desse tipo de resposta para a célula?

Professora, professor, na letra "a" desta questão, o aluno deve perceber que a concentração de lactose afetará diretamente a produção de lactase, pois quando a concentração de lactose do meio for reduzida a proteína repressora ficará livre da ligação com ela e poderá novamente bloquear a transcrição da lactase.

Na "b", ele deve perceber que esse tipo de resposta permite que as células se ajustem a mudanças no meio; dessa forma, elas podem otimizar seu crescimento e divisão.

{ RESPOSTA COMENTADA }

6. A produção de lactase depende apenas da presença do gene que a traduz? Explique.

Professor, professora, nesta questão o aluno deve perceber que a produção da lactase não depende exclusivamente da presença do gene; ela também depende da interação do gene da proteína repressora com a lactose.

{ RESPOSTA COMENTADA }

Com base nas conclusões que você observou para o controle da expressão gênica, reflita:

Muitos organismos pluricelulares (como o nosso) têm origem numa única célula que se multiplica sucessivamente, produzindo diversas células geneticamente idênticas. Ao longo desse processo, essas células diferenciam-se em forma e em função, produzindo células tão distintas como as do fígado e os neurônios.

7. Como diferentes células de um mesmo organismo, possuindo o mesmo material genético, podem ser tão diversificadas?

Dica: lembre-se de que à medida que novas células são produzidas a partir do zigoto, elas alteram o ambiente ao redor delas e das demais células preexistentes.

Professor, professora, nesta questão o aluno deve perceber que as diferenças entre as células são causadas principalmente pelo conjunto de genes que cada célula expressa. À medida que novas células são produzidas ao longo da vida embrionária, o ambiente no entorno se torna progressivamente diferente. Isso implica a ativação de determinados genes e a desativação de outros.

Dessa forma, embora as células possuam muitas proteínas em comum, cada célula tem seu repertório próprio, o que possibilita que desenvolvam diferentes respostas para os estímulos ambientais a que forem expostas.

A regulação nesse processo é importante para formar um tipo de rede intracelular que promove a interação proteínas–genes e proteínas–proteínas, o que garante as características próprias de cada célula. Essas interações determinarão como e quando as células deverão se diferenciar. É provável que os alunos

precisem da sua ajuda para perceber a ligação entre o funcionamento do operon lactose que eles acabaram de ver com essa questão mais geral.

RESPOSTA COMENTADA

8. Pensando no que acabamos de aprender, você seria capaz de explicar por que gêmeos univitelinos (vindos do mesmo zigoto), mesmo sendo “clones” naturais (pois possuem o mesmo material genético), são diferentes?

Professora, professor, o objetivo desta questão é levar o aluno a perceber que, embora possuam o mesmo material genético, os gêmeos univitelinos serão diferentes porque a estrutura de um organismo não depende exclusivamente dos genes. O ambiente é um componente fundamental nesse processo. Ele pode influenciar a expressão gênica de muitas formas distintas; além disso, fornece matérias-primas para os processos de síntese controlados pelos genes.

Por isso, mesmo que os gêmeos sejam “clones” naturais, a exposição a variáveis ambientais diferentes geram respostas distintas, o que causa a diferença entre eles. Novamente, é provável que os alunos precisem da sua ajuda para perceber a ligação entre o funcionamento do operon lactose que eles acabaram de ver com essa questão mais geral.

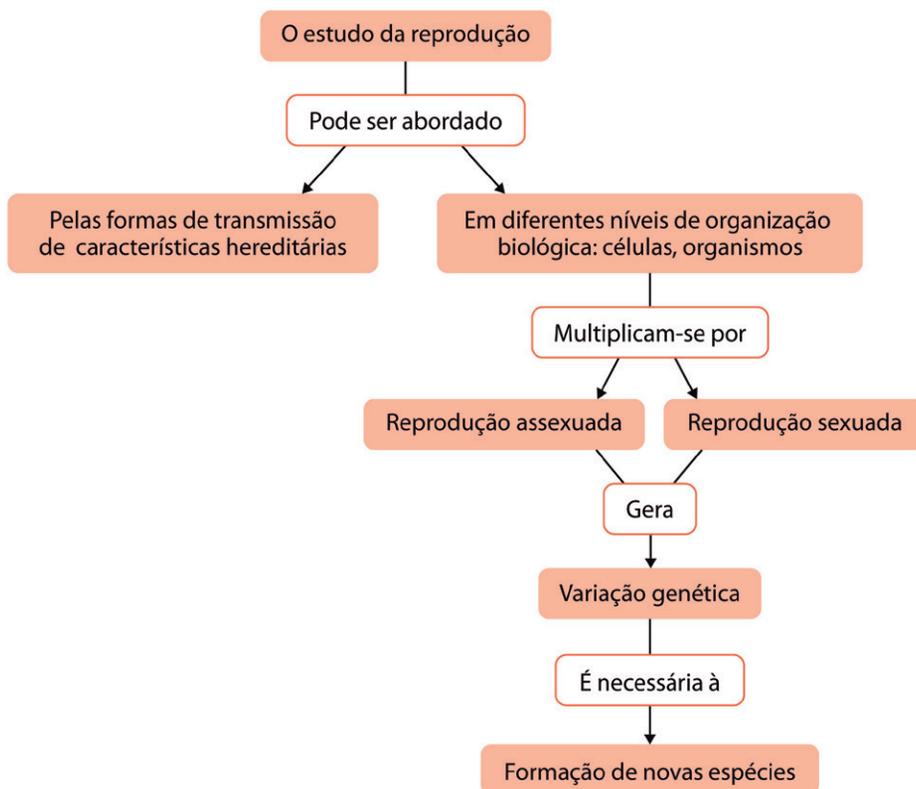
RESPOSTA COMENTADA

Unidade 4

VIDA É REPRODUÇÃO

Não seria exagero afirmar que o único sentido da vida, pelo menos do ponto de vista biológico, é a reprodução. Qualquer tentativa inicial de vida teria falhado se não fosse capaz de gerar uma cópia sua.

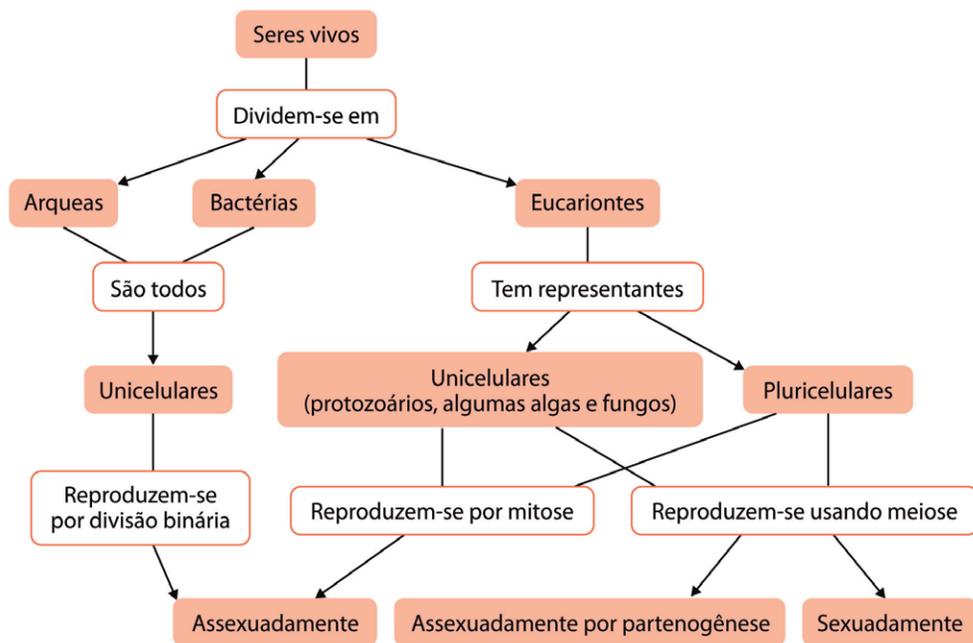
A definição universal de vida é baseada na capacidade de autorreplacação dos seres vivos. Essa importância também fica evidente no mapa conceitual mostrado a seguir.



O lado esquerdo do mapa foi desenvolvido nos primeiros textos base. Agora percorreremos o seu lado direito. Nele, destacamos a reprodução de apenas dois níveis de organização biológica, pois há diferenças significativas entre a reprodução dos organismos unicelulares e pluricelulares. A maioria dos unicelulares reproduz-se simplesmente pela multiplicação de suas células. Para os organismos pluricelulares, produzir novas células tem vários significados, como regeneração dos tecidos e crescimento.

Nesse contexto, a multiplicação de células representa a reprodução apenas nos casos de reprodução assexuada. Para os pluricelulares que fazem reprodução sexuada é preciso um tipo de reprodução especial de células (geração de gametas), seguido da fecundação.

Da forma como está escrita, essa abordagem esconde uma confusão muito comum entre alunos do Ensino Médio. Eles em geral associam organismos unicelulares com reprodução assexuada e mitose, enquanto relacionam os organismos pluricelulares com reprodução sexuada e meiose. Um mapa conceitual, desculpe-nos a insistência, pode ajudar a resolver esse problema.



Acreditamos que a melhor forma de começarmos a trilhar o caminho sugerido por este último mapa com nossos alunos seja a definição de reprodução assexuada e sexuada.

Existem muitas definições. A que nos parece mais coerente com o que já escrevemos até o momento define reprodução como a produção de novos organismos.

A forma assexuada é aquele tipo de reprodução que não envolve a *fusão* de diferentes materiais genéticos, ou seja, não há cariogamia. Isso implica que as formas de *troca* de material genético entre bactérias e arqueas não são um evento reprodutivo, pois não produzem novos indivíduos. Dessa forma, os procariontes apenas se reproduzem assexuadamente. Além disso, por possuírem apenas um cromossomo, o mecanismo que leva à produção de uma nova célula é, geneticamente falando, bem mais simples do que o observado em células eucariontes, as quais possuem mais material genético. Esse tipo de divisão celular que leva à reprodução assexuada das bactérias chama-se *divisão binária* .

Nos eucariontes, o material genético não só se encontra em maior quantidade como também está repartido entre diferentes cromossomos. Nesse caso, a cada divisão celular, é necessário separar corretamente as cromátides-irmãs – presentes nos cromossomos duplicados – entre as duas células-filhas. Esse tipo de divisão celular que separa as cromátides-irmãs dos cromossomos no plano equatorial da célula, produzindo duas células-filhas com a mesma quantidade de material genético é chamado de *mitose*.

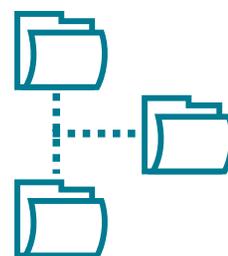
Quando um eucarionte unicelular sofre mitose, ele se reproduz assexuadamente. A mitose para os pluricelulares eucariontes pode servir à reprodução assexuada, mas também, como já dissemos, pode ter outros significados, como regeneração e crescimento. Procariontes não fazem mitose.

Professor, professora, saiba que esse tema é bem polêmico. Por isso, para que você possa desenvolver essa temática, em nossa unidade preparamos três sugestões de roteiros de ações. A seguir iremos fazer um uma breve apresentação de cada um deles, mas todos estarão disponíveis para serem acessados e baixados na íntegra em nossa sala de aula virtual.

Roteiro de Ação 5

Dividir é preciso

Neste roteiro de ação, vamos trabalhar com os alunos a importância da mitose abordando, por meio de um estudo dirigido e vídeos, as diferentes situações em que esse tipo de divisão celular ocorre. Além disso, os alunos serão convidados a refletir que a célula precisa se preparar para o evento de divisão, aumentando o tamanho, sintetizando proteínas e duplicando as moléculas de DNA dos seus cromossomos.



Por outro lado, a maioria dos eucariontes reproduz-se sexuadamente. Em alguns unicelulares, o zigoto sofre meiose e forma esporos haploides que em seguida geram gametas por mitose. Entre esses gametas (em geral idênticos; isogâmicos) ocorre fecundação, que dá origem ao zigoto diploide, completando o ciclo sexuado de vida, como é o caso de *Chlamydomonas*.

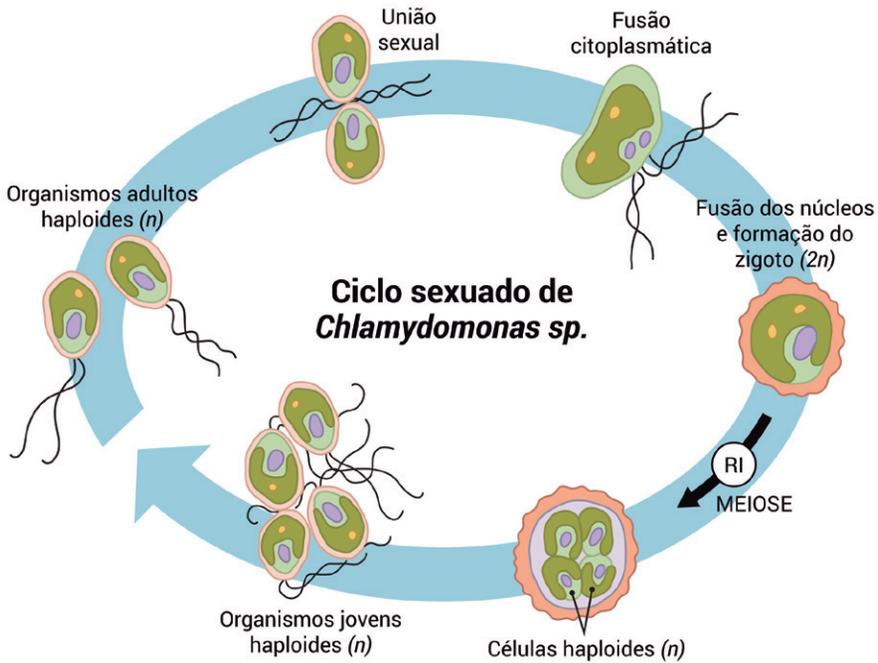


Figura 1: Ciclo de vida de *Chlamydomonas*.

Em outros unicelulares ocorre meiose sem a formação de uma célula reprodutiva, um gameta. Há uma diversidade de formas de reprodução desse tipo. Um exemplo é o caso dos ciliados, cujo DNA é dividido em dois núcleos (macro e micronúcleo). Os micronúcleos sofrem meiose, produzindo quatro micronúcleos que sofrem mitose, gerando outros micronúcleos. Alguns se desintegram e sobram dois micronúcleos em cada célula.

Esse tipo de reprodução sexuada ocorre quando dois ciliados distintos trocam micronúcleos. O que veio do parceiro (micronúcleo migratório) se funde (cariogamia) com o que restou na célula (micronúcleo estacionário), formando um núcleo $2n$. Esse núcleo diploide se duplica em seguida, formando um novo macronúcleo *poliploide*, já que o antigo se desintegrou (veja a Figura 2). Alguns autores chamam esse processo de *conjugação*, como nas bactérias, já que não há a formação de novos indivíduos.

Poliploidia é a condição do núcleo de uma célula (ou de todas as células de um organismo) em que há mais de dois conjuntos cromossômicos. Células $3n$, $4n$, por exemplo, têm núcleos poliploides.

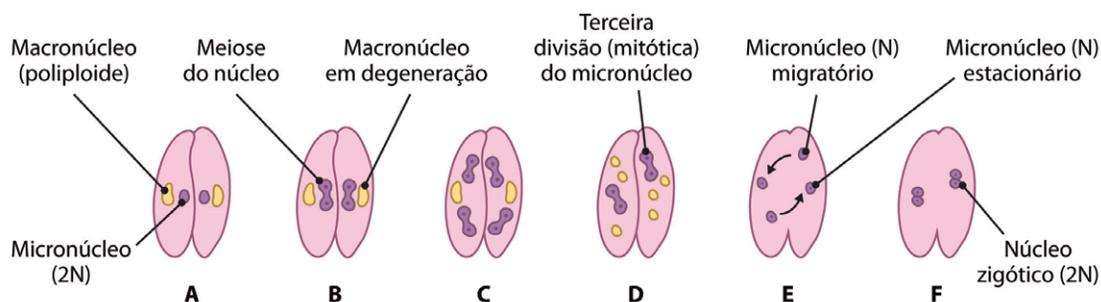


Figura 2: "Reprodução sexuada" em ciliados.

Entre os pluricelulares, a meiose pode ocorrer para formar gametas (como nos animais) ou para formar esporos (como nas plantas, na maioria das algas e nos fungos). Veja a Figura 3.

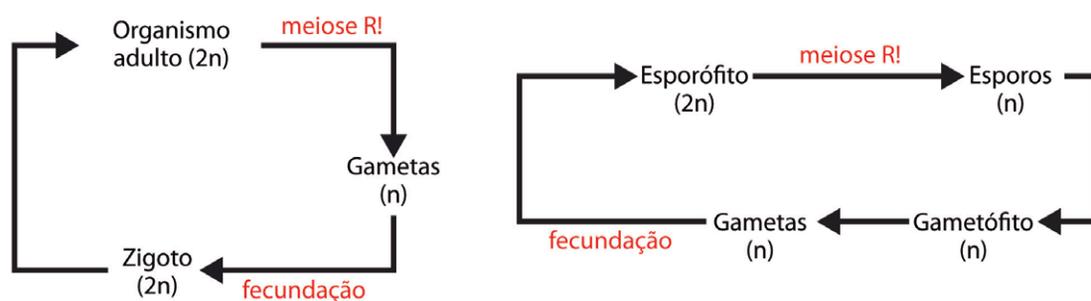


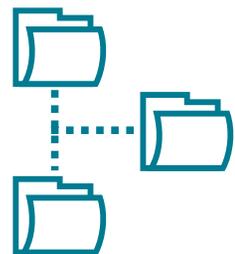
Figura 3: Esquema representando ciclo de vida de vida haplobionte diplonte da maioria dos animais (à esquerda) e o ciclo de vida diplobionte da maioria das plantas (à direita). Observe que a meiose produz gametas no primeiro e esporos no segundo.

Na meiose, os cromossomos são duplicados como na mitose, mas a primeira separação é a dos homólogos na metáfase I, o que leva à diminuição à metade do número de cromossomos nas duas células-filhas. Após essa primeira divisão, segue a separação de cromátides-irmãs (metáfase II). Ao final, temos quatro células com metade do material genético da célula original.

Roteiro de Ação 6

Agora é a vez da meiose!

A proposta deste roteiro de ação é trabalhar em sala de aula o tema divisão celular, sua importância e as diferenças entre mitose e meiose, baseando-se em vídeos (animações e videomicroscopias) e esquemas. Buscamos, com esses tipos de ferramentas, facilitar o entendimento de um assunto considerado de difícil compreensão pelos estudantes.



Para completar o evento de reprodução sexuada nos pluricelulares, além da meiose, é preciso que haja a *fecundação*, ou seja, o encontro de dois núcleos, o que está ausente na reprodução assexuada. Essa pequena distinção explica por que a partenogênese, a partir desse raciocínio, é classificada como reprodução assexuada.

Partenogênese é uma forma de reprodução em que o óvulo gerado por meiose origina um novo indivíduo sem fecundação. Em insetos sociais, como as abelhas, o óvulo se desenvolve por mitose sem ser fecundado por um espermatozoide e dá origem a um macho (zangão) haploide que produz gametas por mitose. Se o óvulo for fecundado (reprodução sexuada), o zigoto ao se desenvolver dará origem a fêmeas, cujas células são diploides. Em resumo, abelhas geram zangões por partenogênese e operárias e rainhas por reprodução sexuada.

Há outras formas de partenogênese, como a de certos lagartos, cujo óvulo, ao invés de ser fecundado como normalmente ocorre, duplica o material genético como se fosse uma célula somática, mas não se divide, tornando-se assim uma célula diploide. Em seguida, sofre mitoses sucessivas, originando um animal adulto diploide.

Antes de tratarmos da origem da reprodução sexuada, pode ser proveitoso tecer algumas comparações entre essa forma de reprodução e as formas assexuadas. A divisão binária e a reprodução assexuada via mitose são, comparativamente aos processos sexuais, muito mais simples e econômicos, pois:

- não incluem a produção de gametas;
- não correm o risco de ficar sem parceiros;
- garantem a transmissão da totalidade do material genético do progenitor para seus descendentes.

Outra diferença: na reprodução assexuada, a variabilidade genética das células-filhas é muito baixa, pois apenas a mutação pode produzir alterações no material genético ao longo da divisão celular. Na reprodução sexuada, além da mutação, os gametas são geneticamente diferentes entre si devido à meiose e, além disso, na fecundação, combinam-se dois conjuntos de materiais genéticos diferentes. Há nessa diferença alguma vantagem, alguma adaptação?



Para saber mais sobre as vantagens e desvantagens das formas sexuada e assexuada de reprodução acesse o link a seguir:

Para que serve o sexo. Disponível em: http://www.cienciahoje.org.br/noticia/v/ler/id/4290/n/para_que_serve_o_sexo/Post_page/11. Acesso em 12 jan. 2018.

Suponhamos que o ambiente em que os organismos se encontram é bom o suficiente para que eles se reproduzam. Nesse caso, não haveria nenhuma vantagem na modificação do material genético por meiose e/ou pela combinação com um novo material genético vindo de outro organismo. Essa variação genética poderia ser prejudicial, especialmente se tratando de um ambiente mais constante.

A Tabela 1 resume essa comparação entre as formas de reprodução assexuada e sexuada.

Tabela 1: Diferenças entre a reprodução sexuada e assexuada

Parâmetro	Reprodução assexuada	Reprodução sexuada
Variabilidade genética da prole	Reduzida (apenas por mutação)	Alta (mutação, segregação independente e permutação)
Custo energético	Baixo	Alto
Risco de encontrar parceiros	Ausente	Presente
Transmissão do material genético	100%	50%

Concluimos, portanto, que não só a reprodução assexuada é mais antiga – a única forma de reprodução presente nas bactérias – como também é mais eficiente em termos genéticos e energéticos. Isso nos cria um problema: como uma estratégia de reprodução a princípio tão desvantajosa como o sexo pode aparecer entre os seres vivos e se disseminar?

Desde os tempos de Darwin, a origem do sexo desafia os evolucionistas. De lá para cá, diversas hipóteses foram levantadas para explicar o sucesso do sexo. Todas elas buscam encontrar uma vantagem na maior variabilidade genética da prole da reprodução sexuada, se comparada com a da assexuada. A hipótese que dominou o pensamento científico ao longo do século XX, que, pela nossa experiência, aparece em quase todos os livros didáticos e habita o imaginário da maioria dos alunos, afirma que a reprodução sexuada teria a vantagem de, ao gerar uma prole geneticamente diversificada, alguns desses organismos sobreviverem a uma eventual mudança no ambiente. Já a prole geneticamente idêntica de uma reprodução assexuada seria toda dizimada se o ambiente passasse a oferecer condições inadequadas de sobrevivência e reprodução. Essa hipótese, a que chamaremos *hipótese da variação ambiental*, traz consigo um problema teórico e uma previsão que não se confirma; por isso foi, mais tarde, descartada. Vamos entender isso um pouco melhor.

Em termos teóricos, uma vantagem que só se expressa se algo acontecer no futuro tem menos chance de vingar. Imagine um organismo assexuado gerando clones seus em um ambiente suficientemente bom para que ele se reproduza. Ele deverá deixar mais descendentes do que um organismo sexuado, pois este último gera uma prole variada, constituída de alguns organismos que podem não se reproduzir bem nesse ambiente e só estariam bem adaptados em um novo ambiente que está por vir. Em resumo, a seleção natural é cega – ou pelo menos míope. Ela seleciona os que se saem melhor na geração seguinte. Seu poder de eliminação não pode ficar esperando por uma eventual mudança ambiental em um futuro distante.

Você poderia argumentar que, em ambientes mais instáveis, os organismos sexuais seriam favorecidos em relação aos assexuais. Esta é a previsão que a hipótese da variação ambiental faz: deveríamos encontrar mais organismos assexuais em ambientes mais estáveis e mais organismos sexuais em ambientes mais instáveis. Esse tipo de levantamento comparativo foi feito. Foram investigadas espécies que apresentam os dois tipos de reprodução (sexual e assexual) e foi comparado o número de espécies exclusivamente sexuais nesses dois tipos de ambiente. Nas duas situações, a previsão da hipótese da variação ambiental não foi verificada. Entre as espécies que apresentam os dois tipos de reprodução, a forma assexual dominava nos ambientes instáveis. E o número de espécies exclusivamente sexuais era maior nos ambientes estáveis.

Nas últimas décadas do século XX, outras hipóteses para a origem do sexo foram aventadas. Vamos apresentar duas que, além de teoricamente prováveis, apresentam evidências empíricas mais consistentes, mas ainda não se encontram presentes nos livros didáticos.

Encontramos diversas espécies que se reproduzem sexual e assexualmente. Algumas delas (leveduras e plantas) usam a reprodução sexual apenas em situações de estresse ambiental. A variabilidade gerada pelo sexo produziria indivíduos resistentes a essa situação. Assim que a situação se estabiliza, a reprodução assexual volta a predominar. Repare que essa hipótese lembra a da variação ambiental, mas não é exatamente igual, pois aqui o sexo é uma forma opcional de reprodução. Além disso, essa hipótese explica a origem do sexo, mas não sua permanência e nem por que muitas espécies abandonaram a reprodução assexual.

A segunda hipótese parte da relação entre parasitas e hospedeiros. Os parasitas são organismos em geral bem menores que seu hospedeiro, têm ciclo de vida curto e se reproduzem preferencialmente por reprodução assexual. A prole possui alguma variação genética, visto que mutações ocorrem toda vez que uma célula se divide. Como o ciclo de vida é curto, muitas gerações se sucedem e mais variação por mutação pode ocorrer. Essa variação genética é importante, porque os parasitas precisam vencer as barreiras imunológicas dos hospedeiros que também são determinadas geneticamente.

Se um tipo de parasita logra contaminar certo tipo de hospedeiro, esse hospedeiro tende a desaparecer. Em seguida, um novo tipo de hospedeiro, resistente ao parasita anterior, torna-se dominante na população e passa a ser alvo fácil de outros tipos de parasitas que possuem as variações genéticas capazes de driblar as defesas específicas. Temos, assim, um caso de coevolução: os parasitas geram variação genética que dribla as defesas dos hospedeiros e estes, por sua vez, geram novas formas genéticas que os defendem contra os parasitas.

Mas os hospedeiros têm ciclo de vida longo. Se eles gerassem uma prole com variação genética apenas por mutação, essa variação seria muito menor do que a dos parasitas, pois seriam poucas

gerações de hospedeiros contra muitas gerações de parasitas na mesma unidade de tempo. Veja o esquema na Figura 4.

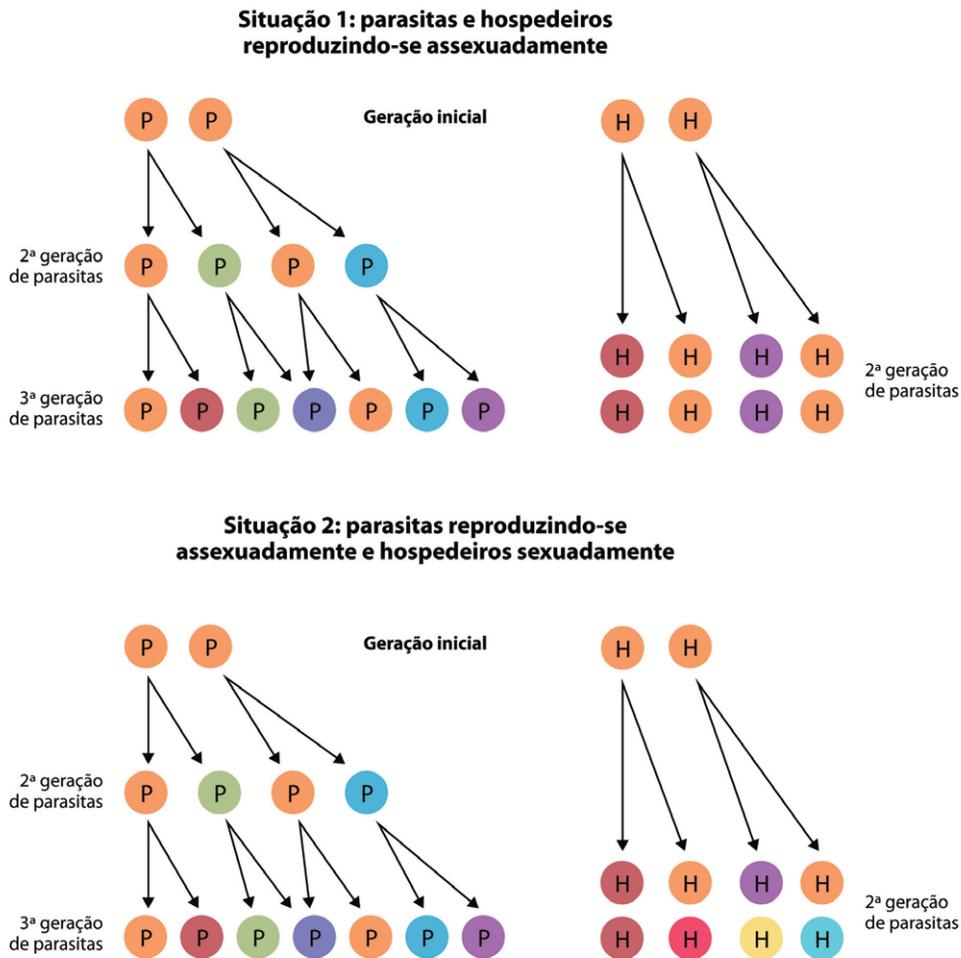


Figura 4: Na situação 1, parasitas (bolinhas P) e hospedeiros (bolinhas H) reproduzem-se assexuadamente. A cor da bolinha do parasita indica que ele tem afinidade genética com o hospedeiro da mesma cor. Como os parasitas têm ciclo de vida curto, eles acumulam mais mutações e geram maior variedade de parasitas do que hospedeiros. Sempre há parasitas capazes de infectar hospedeiros e levá-los à morte. Na situação 2, os hospedeiros fazem reprodução sexuada e geram uma prole mais variada. Agora, há hospedeiros (os de cor vermelha, cinza, amarela e azul claro) que não serão parasitados e sobreviverão. Você pode imaginar que novos parasitas com essas cores (características genéticas) podem surgir na 4ª geração de parasitas e atacar esses hospedeiros que escaparam, mas em uma 3ª geração de hospedeiros se reproduzindo sexuadamente pode haver indivíduos totalmente diferentes que escapem de alguns desses parasitas.

Portanto, cria-se uma pressão seletiva para que hospedeiros desenvolvam uma forma de reprodução em que a variação genética seja maior do que as simples mutações da reprodução assexuada. Que estratégia foi essa? A reprodução sexuada!

E onde estão as evidências empíricas que a sustentam? A *hipótese da Rainha Vermelha*, como é conhecida, prevê que, em ambientes onde houver maior pressão de parasitas, as formas sexuadas devem predominar em relação às formas assexuadas, que seriam dominantes em ambientes com menor taxa de parasitismo.

Encontrar organismos que façam os dois tipos de reprodução não é tão fácil assim, mas tal previsão foi verificada em espécies de peixes e caramujos. Os caramujos da espécie *Potamopyrgus antipodarum* que habitam rios e lagos fazem partenogênese (reprodução assexuada) e também se reproduzem sexualmente (Figura 5). Os rios são mais instáveis do que lagos, porém a taxa de parasitismo é muito maior nos lagos do que nos rios. A forma sexuada de reprodução era mais frequente nos lagos do que os rios, sustentando a hipótese da Rainha Vermelha e, ao mesmo tempo, negando a hipótese da variação ambiental.



Figura 5: O caramujo da lama neozelandês *Potamopyrgus antipodarum*.
Fonte: http://en.wikipedia.org/wiki/File:P_antipodarum.jpg. Acesso em 12 jan. 2018.

A hipótese da Rainha Vermelha ganhou esse nome em analogia ao episódio do livro *Alice no país dos espelhos*, de Lewis Carroll. A rainha de copas diz para Alice que, naquele país, para continuar no mesmo lugar, é preciso correr. O pesquisador Leigh van Valen, em 1973, usou pela primeira vez essa analogia para explicar a coevolução e as taxas constantes de extinção: é preciso correr (evoluir) para permanecer no mesmo lugar (não se extinguir). Posteriormente, o termo foi aplicado novamente para batizar uma das hipóteses que explicariam a origem do sexo.



Para saber mais sobre a hipótese da Rainha Vermelha, acesse:

Parasitas, evolução e sexo. Disponível em: <http://cienciahoje.uol.com.br/colunas/deriva-genetica/parasitas-evolucao-e-sexo>. Acesso em 12 jan. 2018.

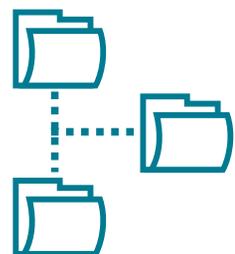
Rainha Vermelha e evolução. Disponível em: <http://scienceblogs.com.br/rainha/2008/01/rainha-de-copas-evolucao/>. Acesso em 12 jan. 2018.

Outra evidência a favor da hipótese da Rainha Vermelha vem das estruturas chamativas que muitos machos usam para convencer fêmeas a se acasalar com eles. Em algumas aves, os machos possuem caudas longas e sabe-se que, quanto maior a cauda, maior é sua chance de acasalar. Quando um indivíduo está parasitado, sua cauda não se desenvolve tanto e sua chance de achar uma parceira disponível para acasalar diminui. Ou seja, uma cauda longa é uma propaganda da saúde de seu portador. A cauda avisa à fêmea que ele é um macho cuja bagagem genética deve ser capaz de gerar uma prole saudável. Isso mostra que provavelmente o sexo evoluiu e até hoje se mantém como forma de produzir uma descendência capaz de evitar parasitas.

Roteiro de Ação 7

Origem da reprodução sexuada

Neste estudo dirigido, destacamos as diferenças entre a reprodução assexuada e a sexuada e as hipóteses que explicam a origem e a manutenção do sexo entre os eucariontes. É uma tentativa de explicar para os alunos a origem do sexo pela hipótese da Rainha Vermelha. Por ser um tema mais difícil, recomendamos que você avalie a pertinência de aplicá-lo na sua turma. Nossa experiência pedagógica sugere que, com tempo disponível para discutir o tema, a maioria dos alunos consegue entender.



Sim, parece que o cenário das pressões seletivas que deram origem à reprodução sexuada está esclarecido. Mas basta voltarmos os olhos para o segundo mapa conceitual para percebermos que, para haver reprodução sexuada, é necessário haver meiose. De onde veio a meiose? Como ela evoluiu? E, mais além, por que a meiose gera gametas diferentes, machos e fêmeas?

A origem da meiose ainda gera grande debate. De modo geral, podemos dizer que os pesquisadores acreditam que a meiose seja um processo derivado da mitose. A principal evidência é que uma série de eventos meióticos já está presente na mitose, tais como: a duplicação e a condensação dos cromossomos, a formação do complexo sináptico e a separação de cromátides-irmãs.

Devemos lembrar que, em certas células somáticas de fungos, animais e plantas, ocorre recombinação mitótica (por exemplo, em células do sistema imunológico). Além disso, é observado pareamento *parcial* de homólogos em mitoses de células de *Drosophila* e leveduras.

Segundo Adam S. Wilkins e Robin Holliday, a principal novidade evolutiva que a meiose apresenta é o pareamento extenso dos homólogos e sua permanência até a metáfase. Eles argumentam que a provável pressão seletiva para a origem desse extenso pareamento dos homólogos seria evitar recombinação *ectópicas* – entre cromossomos não homólogos – normalmente deletérias. A alta taxa de recombinação desse tipo no pedaço não homólogo do cromossomo Y é uma das evidências que sustentam essa hipótese.

“Resolvido” o problema da meiose, podemos avançar na história evolutiva da reprodução sexuada. Observe que a meiose apenas gera gametas (ou esporos) geneticamente distintos, mas não obrigatoriamente de sexos distintos. De fato, há um número significativo de espécies entre protistas e fungos cujos gametas são iguais, ou seja, isogâmicos. Nessas espécies não há machos e fêmeas, mas sim linhagens sexualmente compatíveis (+ e -). Qual é a história da heterogamia? Por que muitas espécies evoluíram de forma a apresentar dois sexos – machos, produtores de muitos gametas pequenos, e fêmeas, que liberam poucos gametas grandes?

Esse também é um tema extremamente debatido até hoje. Tivemos a felicidade de nos deparar com um livro publicado em 2011 voltado exclusivamente para a evolução da anisogamia (gametas morfológicamente diferentes). Há várias teorias interessantes, mas percebemos que ainda estamos longe de um consenso.

Segundo o editor Paul Cox, devemos ficar atentos à hipótese fundadora elaborada por Geoffrey Alan Parker e colaboradores, em 1972, da qual várias outras têm derivado. Essa hipótese pressupõe que cada indivíduo tem quantidade limitada de energia e biomassa disponível para a reprodução. Portanto, uma produção maior de gametas implica gametas menores, da mesma forma que gametas maiores só poderiam ser produzidos em menores quantidades.

Em uma população isogâmica, que produza gametas de diferentes tamanhos, pode se instaurar uma *seleção natural disruptiva*, em que dois pontos de equilíbrio seriam atingidos. Gametas maiores, com mais citoplasma, seriam selecionados por aumentar as chances de sobrevivência dos zigotos, e gametas menores em maiores quantidades seriam selecionados por aumentar as chances de fecundação. Dessa forma, a partir de um ancestral isogâmico – mais antigo – teriam evoluído independentemente espécies anisogâmicas em diversos momentos da história da vida, como em animais e plantas.

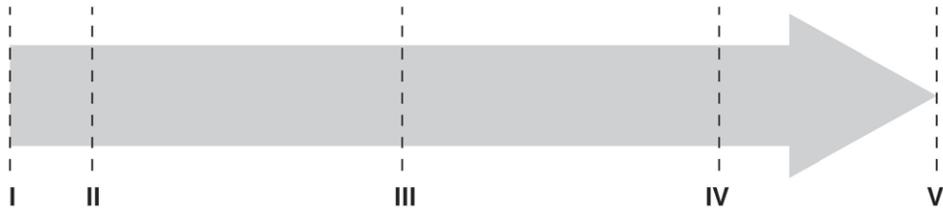
Quando a seleção natural favorece dois ou mais tipos de fenótipos distintos, os biólogos a classificam com disruptiva. A seleção que levou à formação de diversos tipos de bico entre os tentilhões das Ilhas Galápagos, a partir de um ancestral comum, seria um exemplo de seleção natural disruptiva.

Essa discussão parece pouco relevante, especialmente se levarmos em conta o aluno do Ensino Médio, mas vale lembrar que a diferença na formação de gametas entre machos e fêmeas está na base da seleção sexual verificada por Darwin. Em outras palavras, a anisogamia explica por que os investimentos em reprodução são mais altos nas fêmeas do que nos machos, o que consequentemente faz delas o sexo que seleciona parceiros e faz deles o sexo especializado em espalhar gametas. Essa diferença permitiu, como foi dito antes, que fossem selecionados machos exibicionistas, de propagandas custosas, que tentam convencer as fêmeas de sua saúde genética, capaz de produzir uma prole sem parasitas.

Vimos que a reprodução sexuada está intimamente ligada à meiose, mas não implica a existência de sexos masculino e feminino. Enquanto um está relacionado à fecundação, o outro se refere a diferenças entre gametas. Considerando a linha do tempo esquematizada a seguir e os marcos identificados por números romanos, marque sobre a linha do tempo o período aproximado do surgimento:

- Da meiose;
- Da reprodução sexuada a partir da fecundação de gametas;
- Dos sexos.

Justifique sua resposta.



I. 4,6 bilhões de anos atrás; formação do planeta.

II. 3,8 bilhões de anos atrás; origem da vida.

III. 1,5 bilhão de anos atrás; primeiro fóssil de célula eucariota.

IV. 600 milhões de anos atrás; primeiros seres vivos multicelulares.

V. Presente.

Por fim, vale lembrar que a reprodução sexuada com fecundação de gametas gerou a noção de indivíduo e, conseqüentemente, a de morte. Quando organismos se reproduzem assexuadamente, não se pode dizer quem é filho de quem. Se um deles morre, sobra o clone, ou seja, ninguém morre! Na reprodução sexuada, dois organismos distintos dão origem a um terceiro. Se um deles morrer, sabemos o “nome” do defunto...

Roteiro de Ação 5

Dividir é preciso!

Duração prevista: 50 minutos.

Área do conhecimento: Biologia.

Assunto: Divisão celular.

Objetivo: Entender a divisão celular por mitose.

Material necessário: Roteiro impresso, vídeos, computador, data show, acesso à internet (opcional; os vídeos podem ser gravados e expostos para a turma).

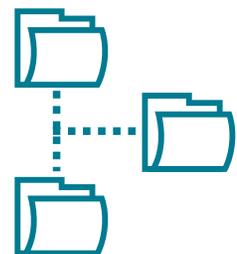
Organização da classe: grupos de dois a três alunos.

Descritores associados:

H13 – Reconhecer mecanismos de transmissão da vida, prevendo ou explicando a manifestação de características dos seres vivos.

H15 – Interpretar modelos e experimentos para explicar fenômenos ou processos biológicos em qualquer nível de organização dos sistemas biológicos.

H17 – Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas Ciências Físicas, Químicas ou Biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.



Professor, professora, a proposta deste roteiro de ação é trabalhar em sala de aula o tema divisão celular por meio da utilização de vídeos (animações e videomicroscopias) e esquemas. Buscamos, com esses tipos de ferramentas, facilitar o entendimento de um assunto considerado de difícil compreensão pelos estudantes.

Dividir é preciso!

A divisão celular é um processo no qual uma célula (célula-mãe) se divide em duas ou mais células (células-filhas). Esse processo é essencial à manutenção da vida. *Mas para quê as células se dividem? Será que todas as células se dividem com o mesmo objetivo?* Tente escrever diferentes situações em que você imagina que a divisão celular ocorre.

Professor, professora, neste primeiro momento, esperamos que os alunos expressem o que sabem e pensam sobre divisão celular. Como lidamos com alunos provenientes de realidades escolares heterogêneas, poderão ocorrer diferentes respostas na turma. Algumas possibilidades são: crescimento, produção de filhotes, cicatrização de tecidos etc.

{ RESPOSTA COMENTADA }

Agora vamos assistir a alguns vídeos. Será que existem outras razões para uma célula se dividir, além daquelas que você escreveu? Preste bastante atenção! Se descobrir novas razões, acrescente às suas respostas.

Neste segundo momento, os alunos devem assistir aos vídeos indicados a seguir. Ajude-os a associar a divisão celular à formação de novos seres (vídeos 1 e 2), regeneração (vídeo 3), à reconstituição de partes lesadas do corpo (vídeo 4) e ao crescimento (vídeo 5). Essa ajuda será necessária porque, nos vídeos, nem sempre são mostradas claramente as células se dividindo. Em muitas ocasiões, os alunos verão o resultado da divisão: crescimento, regeneração etc.

Recomendamos que, entre um vídeo e outro, seja dada uma pequena pausa para que os alunos possam fazer breves anotações sobre o que observaram.

{ RESPOSTA COMENTADA }

Vídeo 1: A fecundação em 3D – reprodução humana

Disponível em: <http://www.youtube.com/watch?v=lqeVYeSCp2l>. Acesso em 15 jan. 2018.

O vídeo mostra a liberação do ovócito II pelo ovário e sua união com o espermatozoide (fecundação). Após a formação do zigoto, é representada a primeira clivagem e, posteriormente, já é mostrado um grande número de células. Com base nesse último aspecto, seria interessante chamar a atenção dos alunos para a ocorrência de várias divisões sucessivas até a formação da estrutura apresentada. Esses eventos podem ser observados até 1'10".

{ RESPOSTA COMENTADA }

Vídeo 2: Embryo development in worm and fish

Disponível em: <http://www.youtube.com/watch?v=NAD-L4WzWHw>. Acesso em 15 jan. 2018.

O vídeo Desenvolvimento embrionário em vermes e peixes - videomicroscopia mostra a união dos núcleos dos gametas masculino e feminino de um verme e a conseqüente formação do zigoto. São exibidas as sucessivas divisões celulares por mitose, pelas quais o zigoto passa até sua completa formação, quando o verme, totalmente formado, sai do ovo.

O vídeo dura 5'18", mas esses eventos podem ser observados dos 41" aos 2'16". Vale salientar para os alunos que as células eucarióticas em geral demoram 24h para se dividir e que os processos representados no vídeo estão acelerados.

{ RESPOSTA COMENTADA }

Vídeo 3: Pontociência – jogos mortais

Disponível em: <http://www.youtube.com/watch?v=LwBc5bK4BUQ>. Acesso em 15 jan. 2018.

O vídeo mostra um experimento de regeneração de planárias em um período de 15 dias. O vídeo possui duração de 2'46".

{ RESPOSTA COMENTADA }



Professor, professora, se você quiser saber com detalhes como esse experimento com as planárias foi realizado, visite:

Ponto ciência - jogos mortais. Disponível em: <http://pontociencia.org.br/experimentos/visualizar/jogos-mortais/210>. Acesso em 15. jan. 2018.

Vídeo 4: Cicatrização

Processo de cicatrização. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=JYYjs32xV4g>. Acesso em 15 jan. 2018.

O vídeo, de 53", simula o processo de cicatrização. Está em inglês, mas apresenta uma ótima animação de como se cicatriza uma lesão em um dos dedos.

{ RESPOSTA COMENTADA }

Vídeo 5: Epigeal germination climbing bean time lapse

Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=CNLPmHhLb4>. Acesso em 15 jan. 2018

O vídeo mostra a germinação do feijão ao longo de um período de quatro semanas. O vídeo possui duração de 2'40". Seria interessante chamar a atenção dos alunos para o fototropismo evidente no vídeo.

{ RESPOSTA COMENTADA }

Professora, professor, selecionamos vários vídeos com o objetivo de dar uma visão geral do significado da divisão celular. É importante salientar que o tempo de execução de todos eles não ultrapassa 15 minutos. Alguns deles possuem áudio em inglês, porém, como o importante aqui são as imagens, sugerimos retirar o som.

Apesar de os vídeos a que vocês assistiram mostrarem diferentes situações em que as divisões celulares ocorrem, é bom lembrar que toda célula, antes de se dividir, precisa se preparar para a divisão. O que você imagina que seja necessário para uma célula fazer antes de se dividir em duas células-filhas iguais? Pense no material genético.

Professor, professora, talvez esta pergunta ainda seja difícil de ser respondida pela maioria dos alunos, mas a ideia é que eles comecem a pensar a respeito. A resposta esperada é que a célula precisaria duplicar seu genoma.

{ RESPOSTA COMENTADA }

Professor, professora, caso queira ilustrar (além dos esquemas disponibilizados neste roteiro de ação) os eventos que ocorrem durante a intérfase, sugerimos os vídeos:

Divisão celular – da série Viagem à Célula, do Projeto Embrião/Unicamp.

O vídeo ilustra as etapas da intérfase (dos 3'14" aos 5'01").

Disponível em: <http://www.youtube.com/watch?v=AypKPEn41wM>. Acesso em 15 jan. 2018.

De forma geral, antes da divisão celular, a célula aumenta de tamanho, sintetiza proteínas e duplica as moléculas de DNA dos seus cromossomos.

Observe atentamente os esquemas abaixo:

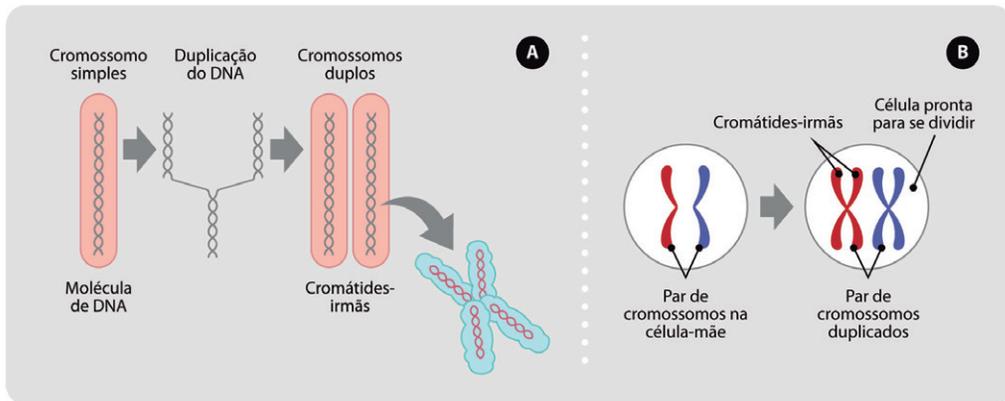


Figura 1: Preparação para a divisão celular. A. Representação da duplicação da molécula de DNA em um cromossomo. B. Representação dos cromossomos de uma célula antes da divisão celular.

O par de cromossomos representados no esquema B é chamado de “cromossomos homólogos”. Eles possuem a mesma forma e o mesmo tamanho, além de genes para as mesmas características. Um cromossomo homólogo é herdado da mãe e o outro é herdado do pai.

Antes de se dividir, a célula duplica seus cromossomos, que passam então a ter aspecto de *cromossomos duplos* (cada um com duas cromátides-irmãs).

Vamos agora visualizar o comportamento desses cromossomos durante uma divisão celular semelhante às mostradas nos vídeos a que você assistiu!

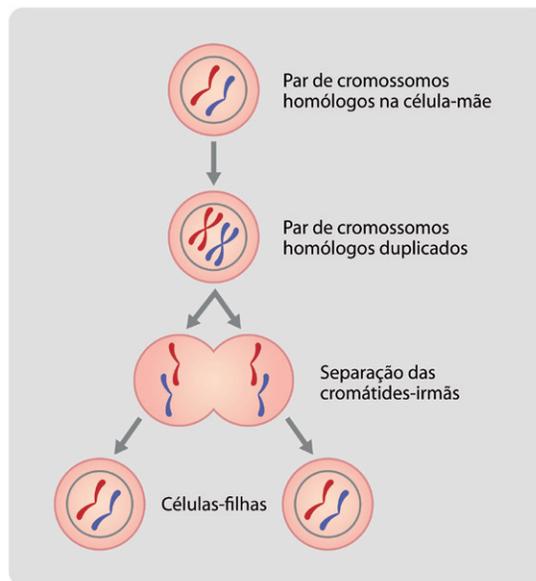


Figura 2: Representação de uma célula se dividindo.

Esse esquema representa a divisão celular que ocorre na célula de uma lombriga (um tipo de verme). Repare que, na célula desse animal, há um par de cromossomos homólogos. Isso mesmo, somente um par! Processo semelhante de divisão celular ocorre com outros organismos. O que varia é o número de cromossomos presentes. Nós, por exemplo, temos 22 pares de cromossomos homólogos e um par de cromossomos sexuais.

Note também que os cromossomos estão duplicados!

Em termos biológicos, por que será que é importante a célula duplicar o seu DNA antes de se dividir?

Essa pergunta serve para avaliar se o esquema da divisão celular foi compreendido pelos alunos. Geralmente eles conseguem entender que a duplicação do DNA é necessária para separar quantidades iguais de DNA entre a célula-mãe e as células-filhas.

{ RESPOSTA COMENTADA }

O tipo de divisão celular representado aqui é chamado de mitose. Pensemos nas células-filhas produzidas na mitose. *Elas são geneticamente iguais ou diferentes entre si? E em relação à célula original (a célula-mãe), são idênticas ou diferentes?*

Esperamos que os alunos entendam que na mitose as células-filhas são geneticamente idênticas entre si e em relação à célula original (célula-mãe).

{ RESPOSTA COMENTADA }

A mitose ocorre em todas as células somáticas (qualquer célula de um organismo multicelular que não seja gameta). Nos organismos multicelulares, a mitose é importante na regeneração de partes machucadas, na substituição de células que morreram por outras novas e no crescimento. Nos unicelulares, a mitose representa a reprodução assexuada.



Professor, professora, caso queira mostrar aos seus alunos as fases da mitose, recomendamos a animação *Mitosis*, que tem duração de 2'46".

Disponível em: http://www.youtube.com/watch?v=cvlpmmvB_m4. Acesso em 15 jan. 2018.

O vídeo possui áudio em inglês; por isso, sugerimos utilizar apenas as imagens apresentadas, já que são suficientes para a compreensão. Sugerimos pedir aos próprios estudantes para narrar os eventos que eles observam. A comparação com imagens dos livros didáticos também é adequada para que os estudantes compreendam outras formas de representação do processo.

Achamos importante identificar os cromossomos homólogos na animação e chamar a atenção dos alunos para o fato de que o ideal seria cada cromossomo homólogo ter uma cor diferente.

Roteiro de Ação 6

Agora é a vez da meiose!

Duração prevista: 50 minutos.

Área do conhecimento: Biologia.

Assunto: Divisão celular.

Objetivo: Diferenciar meiose de mitose.

Pré-requisitos: Conhecimentos sobre DNA, cromossomos e mitose.

Material necessário: Roteiro impresso; Vídeos; Computador; Projetor (data show).

O acesso à internet é opcional, pois os vídeos podem ser gravados e expostos para a turma.

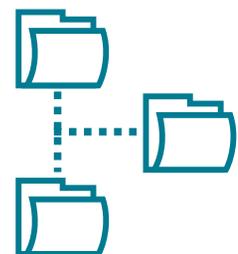
Organização da classe: grupos de dois a três alunos.

Descritores associados:

H13 – Reconhecer mecanismos de transmissão da vida, prevendo ou explicando a manifestação de características dos seres vivos.

H15 – Interpretar modelos e experimentos para explicar fenômenos ou processos biológicos em qualquer nível de organização dos sistemas biológicos.

H17 – Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas Ciências Físicas, Químicas ou Biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.



Professor, professora, construímos este roteiro de ação com a intenção de ajudar os alunos a compreender a meiose por meio de uma comparação com a mitose.

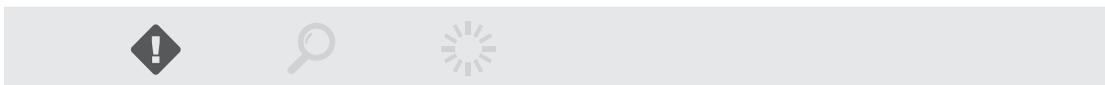
Agora é a vez da meiose!

E o que é essa tal de meiose? Será que o nome nos dá uma pista? Meio, metade... Na verdade, esse nome é derivado da palavra grega *meiosis*, que significa diminuição. Mas diminuição de quê? Vamos adiante para descobrir!

Vamos começar assistindo a um vídeo que mostra parte da vida de todos nós. Ele se chama *Tudo sobre gravidez*.

Veja o filme antes de continuar.

Parte 1 - Documentário do Discovery Channel. Disponível em <http://www.youtube.com/watch?v=7pICIWOUmWA>. Acesso em 15 jan. 2018.



Nesse momento, sugerimos que os alunos assistam ao trecho do documentário do Discovery Channel *Tudo sobre gravidez – parte 1*, no qual é mostrada a união do núcleo do espermatozoide com o núcleo do óvulo (fecundação) e a consequente formação do zigoto. Também são representadas algumas das sucessivas divisões que o zigoto sofre com vistas à formação do organismo e o processo de implantação do embrião no útero (nidação). O vídeo possui duração de 8'02", mas esses eventos podem ser observados até os 6'54".

No filme, o espermatozoide e o óvulo da espécie humana unem seus respectivos núcleos para formar uma única célula, o zigoto. Esse zigoto contém dois conjuntos de informações – um do pai e outro da mãe – e dará origem a novas células por divisão celular.

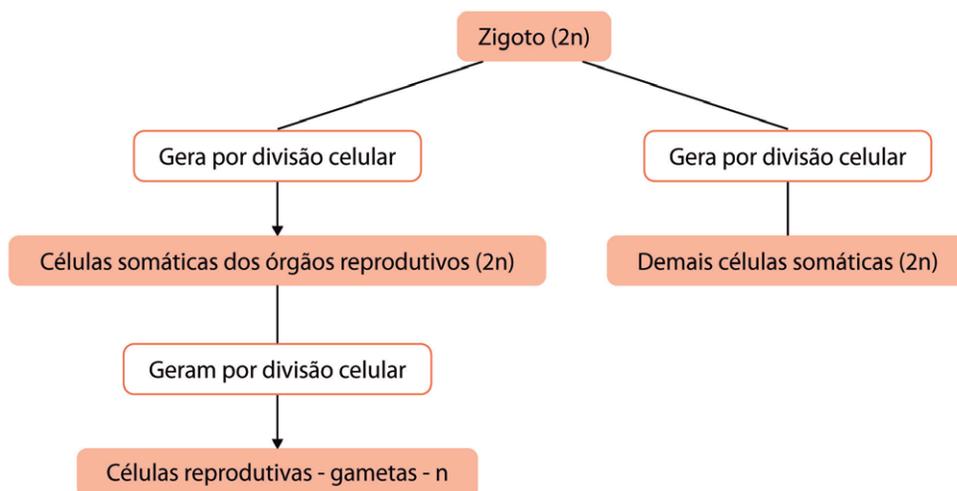
Mas como seria se espermatozoides e óvulos tivessem 46 cromossomos, como todas as células do corpo? Quantos cromossomos o zigoto teria após a fecundação? E se o homem (ou mulher) originado por esse zigoto formasse espermatozoides (ou óvulos) com o mesmo número de cromossomos e uma nova fecundação ocorresse? Quantos cromossomos teria esse novo zigoto? Esse raciocínio está de acordo com o fato de que as células do corpo de todos os indivíduos da espécie humana possuem 46 cromossomos?

Pensando nessa questão, você vai concordar com o fato de que os gametas têm que ter a metade do número de cromossomos das outras células do corpo. Caso contrário, a cada geração o número de cromossomos seria duplicado: a primeira geração teria 46 cromossomos, a segunda 92, a terceira 184 e assim por diante.

E agora? Se os gametas (células reprodutivas) têm que ter a metade do material genético (metade dos cromossomos) das células do corpo, será que já dá pra entender por que a maioria das espécies tem sempre um número par de cromossomos nas células do corpo?

Vamos fazer um resumo da história até aqui. Para começar, vamos representar pela letra “n” o número de cromossomos das células reprodutivas. O zigoto é formado pela fecundação de duas células reprodutivas; logo, o zigoto é uma célula $2n$. Por outro lado, é o zigoto que, por divisões celulares sucessivas, forma as células do corpo. Logo, um zigoto $2n$ produz células $2n$. Em determinadas partes do corpo (ovários e testículos nos animais), algumas células $2n$ geram por divisão celular as células reprodutivas (n) com a metade do número de cromossomos.

Será que todas as divisões celulares que citamos são iguais em relação à quantidade de material genético (número de cromossomos) presente nas células-filhas?



Células somáticas = qualquer célula de um organismo multicelular que não seja gameta.

Identifique os dois tipos de divisão celular e explique as diferenças entre eles.

Os biólogos deram nomes a cada uma dessas divisões celulares. Aquela em que o número de cromossomos se mantém igual (células $2n$ produzem células-filhas $2n$) foi chamada de mitose. A divisão em que o número de cromossomos cai pela metade nas células-filhas ($2n$ para n) foi chamada de meiose.

Agora você entendeu a razão do nome? Como já comentamos, *meiose*, em grego, é diminuição. A redução é no número de cromossomos!

Aplice seus novos conhecimentos em relação ao ciclo de vida da espécie humana completando as lacunas no esquema a seguir.

{ RESPOSTA COMENTADA }

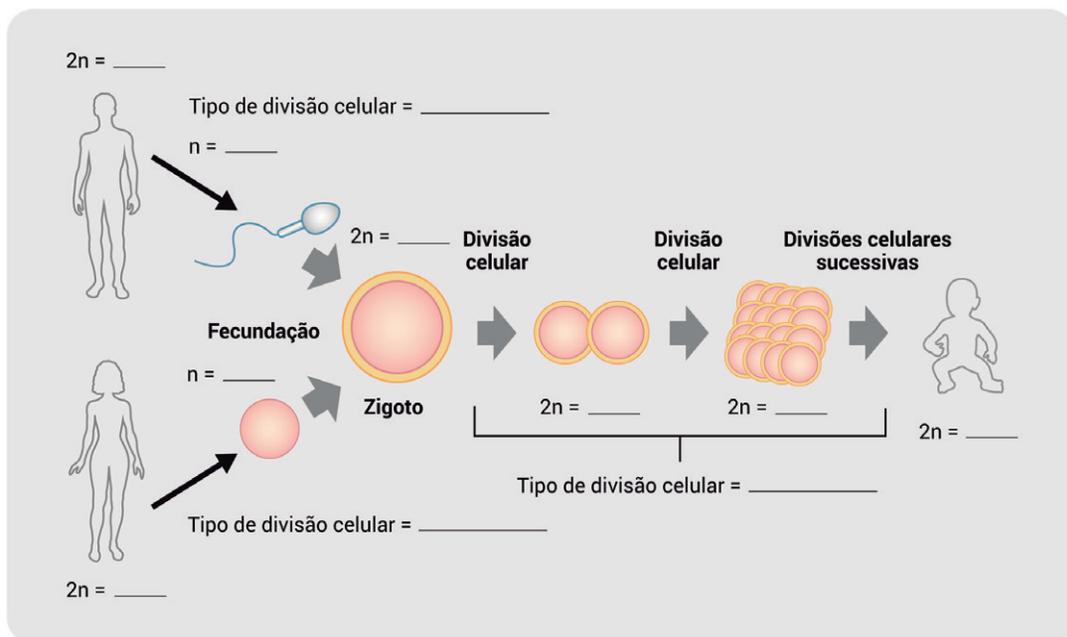
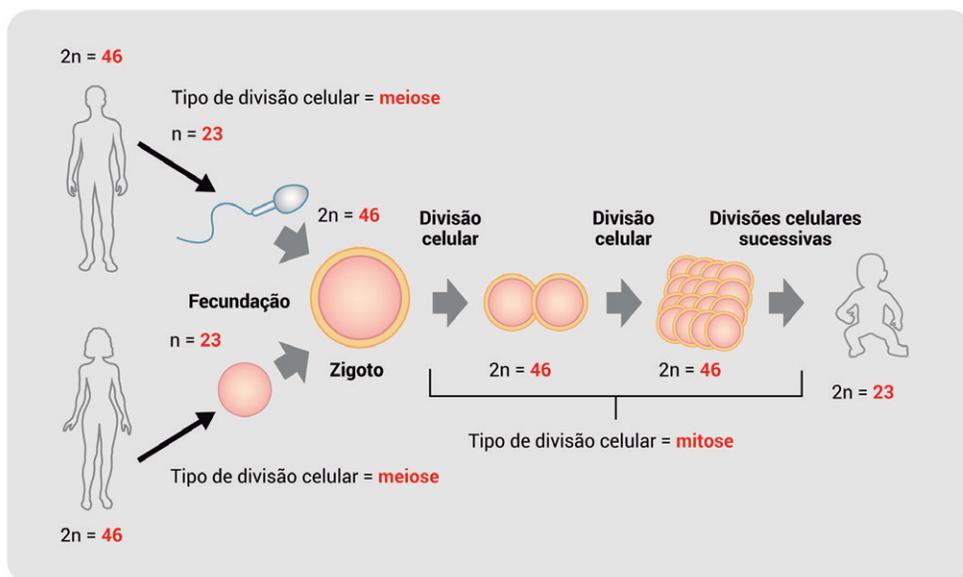


Figura 1: Produção de gametas e fecundação nos seres humanos.

Esperamos que, após observar o esquema, os alunos o preencham da seguinte forma:



{ RESPOSTA COMENTADA }

Para que ocorra a fertilização, o homem libera em média 200 a 500 milhões de espermatozoides durante o ato sexual. A mulher, por sua vez, geralmente libera um óvulo por mês, cerca de 360 ao longo da vida.

Imagine, agora, que os espermatozoides de um mesmo homem fossem geneticamente idênticos entre si e que os óvulos de uma mulher também fossem geneticamente idênticos entre si. Nessas condições, *dois filhos de um mesmo homem com a mesma mulher seriam geneticamente idênticos?*

Certamente vocês conhecem irmãos do mesmo pai e da mesma mãe. *Eles são sempre geneticamente idênticos? O que podemos concluir a respeito do material genético dos espermatozoides do pai e dos óvulos da mãe?*

Professor, professora, esperamos que, tomando como referência as diferenças existentes e evidentes entre irmãos de mesmos pais, os alunos percebam que tanto o homem quanto a mulher produzem gametas geneticamente diferentes, o que lhes possibilita a geração de filhos geneticamente distintos. É provável que a discussão de gêmeos univitelinos apareça; recomendamos que você aproveite a oportunidade para desenvolver esse tema com eles.

{ RESPOSTA COMENTADA }

Mas, e a mitose? Será que ela produz células-filhas geneticamente iguais ou diferentes? Vejamos o crescimento do bebê, que acontece porque o número de células do corpo aumenta. As novas células da pele são quase sempre idênticas às anteriores. O crescimento dos ossos é formado por novas células ósseas que se formam. Quando crescemos em tamanho, todos os nossos órgãos crescem graças às novas células de cada órgão. *Isso é sinal de que na mitose as células-filhas são geneticamente iguais ou diferentes (entre si e em relação às células originais)?*

O parágrafo anterior deve ser discutido com os alunos, ajudando-os a concluir que as células geradas por mitose são geneticamente iguais.

{ RESPOSTA COMENTADA }

Vamos fazer um resumo do que aprendemos preenchendo a tabela a seguir.

Tipo de divisão	Meiose	Mitose
Número de cromossomos das células-filhas em relação ao número de cromossomos da célula-mãe		
Diversidade genética entre as células-filhas		

A ideia aqui é agrupar de forma sucinta o que foi discutido neste estudo dirigido.

Tipo de divisão	Meiose	Mitose
Número de cromossomos das células-filhas em relação ao número de cromossomos da célula-mãe	Metade	O mesmo
Diversidade genética entre as células-filhas	Presente	Ausente

Professor, professora, sugerimos que, após o primeiro contato dos alunos com a tabela, seja passado para a turma o vídeo *Difference between mitosis and meiosis*, que tem duração de 52”.

Disponível em: http://www.youtube.com/watch?v=Ba9LXKH2ztU&playnext=1&list=PLC7DDC2846B1BF913&feature=results_main. Acesso em 15 jan. 2018.

Nesse vídeo são mostrados os eventos chave da divisão celular por mitose e por meiose. As animações são rápidas, mas bastante didáticas. Além da divisão propriamente dita, é representada a duplicação dos cromossomos na intérfase. Nas animações, a mitose e a meiose são exibidas lado a lado com objetivo comparativo, o que facilita a visualização das diferenças entre esses dois tipos de divisão. Essa ferramenta será bastante útil para os alunos revisarem os diferentes tipos de divisão celular, fixarem as informações apresentadas e finalizarem a atividade.

Recomendamos que o vídeo seja passado sem áudio para a turma, já que está em inglês e as imagens apresentadas são suficientes para a compreensão. Uma boa opção seria pausar a animação nas etapas chave de diferenciação entre os dois processos de divisão celular, a fim de permitir que os alunos observem mais criteriosamente.

 { RESPOSTA COMENTADA }

Roteiro de Ação 7

Origem da reprodução sexuada

Duração prevista: 100 minutos.

Área do conhecimento: Biologia.

Assunto: Origem da reprodução sexuada.

Objetivos: Discutir as vantagens da reprodução assexuada e duas hipóteses que explicam a origem e disseminação da reprodução sexuada entre os seres vivos.

Pré-requisito: Conceito biológico de espécie.

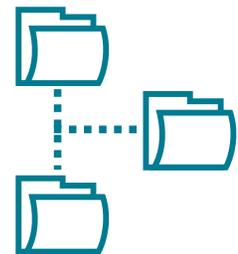
Material necessário: Roteiro impresso.

Organização da classe: Em duplas.

Descritores associados:

H14 – Identificar padrões em fenômenos e processos vitais dos organismos, como manutenção do equilíbrio interno, defesa, relações com o ambiente, sexualidade, entre outros.

H16 – Compreender o papel da evolução na produção de padrões, processos biológicos ou na organização taxonômica dos seres vivos.



Este roteiro de ação foi elaborado na forma de estudo dirigido e tem por objetivo permitir que os alunos reflitam e discutam sobre as vantagens da reprodução assexuada. Em seguida, este roteiro apresenta duas hipóteses que explicam a origem e a evolução da reprodução sexuada. As previsões dessas duas teorias são também discutidas.

Origem da reprodução sexuada

Seria bom definir reprodução sexuada antes de começar nosso estudo. Reprodução é a produção de novos organismos; um processo essencial à vida. A forma sexuada é a produção de novos indivíduos a partir da fecundação, ou seja, dois organismos da mesma espécie produzem gametas (células reprodutivas) e estes se fundem, formando uma nova célula, o zigoto. Esse zigoto sofre várias divisões celulares até formar um novo organismo. Essa é a maneira como a espécie humana e a maioria dos animais se reproduzem (Figura 1). Em plantas e fungos, gametas também se fundem para gerar um zigoto, mas depois disso o ciclo de vida é um pouco diferente. Podemos dizer que eles também se reproduzem sexuadamente.

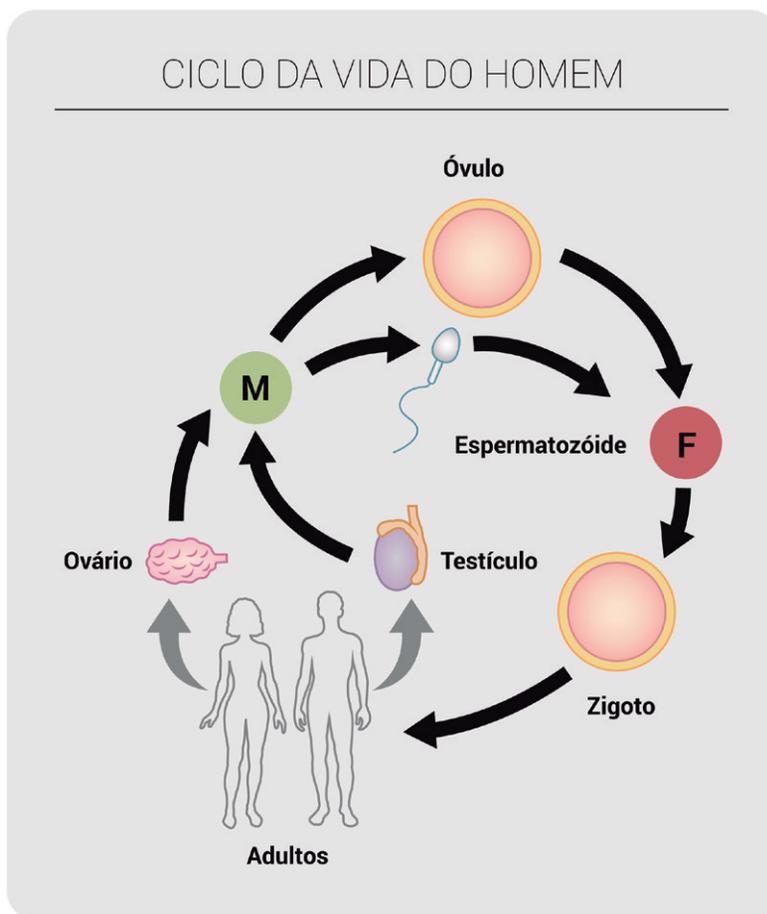


Figura 1: Ciclo de vida na espécie humana, mostrando a produção de gametas (espermatozóides e óvulos) por meiose (M) e a fecundação (F).

Porém há espécies que, além da reprodução sexuada, fazem também reprodução assexuada. Nesse caso, não ocorre fecundação. Células de um organismo vivo são produzidas e dão origem a um novo indivíduo.

Veja na Figura 2 o caso da planária, um verme de corpo achatado. Pedacos do corpo podem se regenerar, dando origem a novos organismos. Em outra situação, duas planárias se encontram e novas planárias são geradas.

1. Complete você mesmo a legenda da Figura 2.

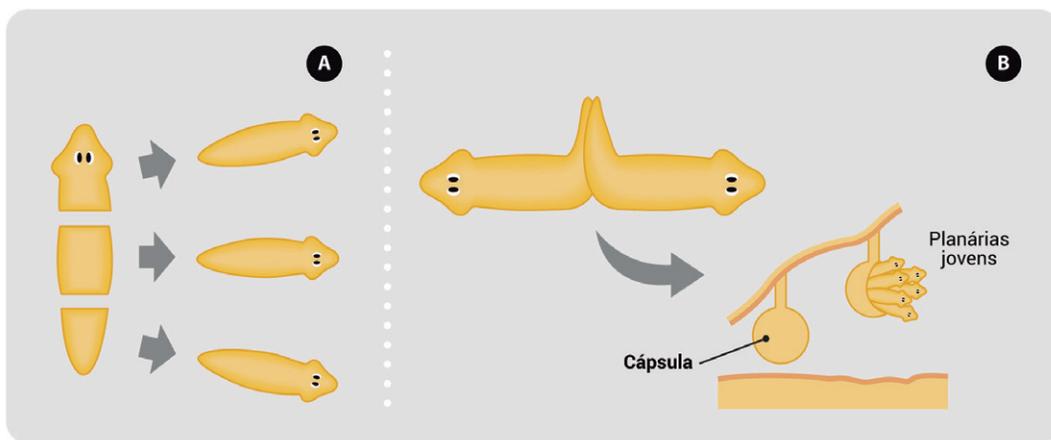


Figura 2: Em A, temos a reprodução _____; em B, a reprodução _____.

Essa questão tem por objetivo apenas verificar se o aluno consegue diferenciar de forma simples os dois tipos de reprodução.

Figura 2. Em A, temos a reprodução **assexuada**; em B, a reprodução **sexuada**.

{ RESPOSTA COMENTADA }

Vamos fazer algumas comparações entre as duas formas de reprodução. Já vimos que, para um organismo produzir gametas, é preciso um tipo especial de divisão celular, a meiose. A meiose é um tipo de divisão celular que gasta muita energia e nutrientes das células, se comparada com a mitose. Além disso, os gametas carregam a metade do material genético do organismo que os produziu, logo

os filhotes levam apenas 50% do material genético de cada um de seus pais. Os filhotes são diferentes entre si, porque a meiose produz gametas geneticamente diferentes, mesmo se eles forem produzidos por um mesmo indivíduo. Finalmente, para que haja reprodução sexuada é preciso encontrar um parceiro. Essa atividade expõe os indivíduos a predadores.

E na reprodução assexuada? Nesse caso, os filhotes são gerados por mitose. Além de haver menor necessidade de energia e nutrientes, na mitose os filhotes são geneticamente idênticos entre si e em relação ao organismo que lhes deu origem. O “pai” (ou “mãe”) passa 100% de seu material genético para os filhotes. A variação genética entre eles é quase zero, porque as taxas de mutação (os erros que ocorrem na duplicação do DNA) são muito baixas.

2. Tente resumir as diferenças entre reprodução sexuada e assexuada na tabela a seguir.

Caraterísticas	Reprodução Sexuada	Reprodução Assexuada
Necessidade de encontrar parceiro		
Custo energético na produção de gametas		
Variação genética da prole		
Transferência de material genético		

A ideia aqui é organizar as diferenças na cabeça do aluno, de forma que ele conclua, a seguir, que a reprodução assexuada seria, a princípio, mais vantajosa.

Caraterísticas	Reprodução Sexuada	Reprodução Assexuada
Necessidade de encontrar parceiro	Presente	Ausente
Custo energético na produção de gametas	Alto	Baixo
Variação genética da prole	Alta	Baixa
Transferência de material genético	50% de cada um dos parceiros	100% de um único indivíduo

{ RESPOSTA COMENTADA }

Olhando para a tabela, responda:

3. Se você fosse um organismo que quisesse aproveitar ao máximo a reprodução de forma a passar a sua informação genética para a próxima geração, qual das formas anteriores você adotaria? Qual dos tipos de reprodução seria mais vantajoso?

Acreditamos que, diante da tabela, o aluno não deve ter dificuldade para responder que a reprodução assexuada seria a melhor forma.

{ RESPOSTA COMENTADA }

Você chegou a uma conclusão importante. Vários cientistas, desde o século XIX também pensaram da mesma maneira. Mas isso gerou um problema. Hoje, sabe-se que a maioria dos seres vivos eucariotos (os protozoários, algas, fungos, vegetais e animais) é capaz de realizar a reprodução sexuada. Alguns, incluindo a maioria dos animais, só fazem reprodução sexuada. Como uma forma tão desvantajosa de reprodução pode surgir ao longo da evolução da vida e por que ela teve tanto sucesso?

Durante muitos anos, várias hipóteses foram elaboradas. Todas elas apontam para a diferença de variabilidade genética entre as formas sexuada e assexuada

4. É provável que você tenha ouvido falar em uma dessas hipóteses ou talvez você seja capaz de pensar sobre uma agora.

A seguir, tente descrever essa hipótese.

Nossa experiência mostra que muitos alunos conseguem perceber que a maior variabilidade genética da reprodução sexuada pode ser útil para garantir a sobrevivência de alguns indivíduos em casos de mudanças no ambiente. Se todos os organismos fossem idênticos, a mudança poderia devastar a todos. Com as diferenças geradas por reprodução sexuada, alguns organismos sobreviveriam à mudança e a espécie seria preservada.

{ RESPOSTA COMENTADA }

Chamemos essa hipótese que vocês pensaram de hipótese da variação ambiental.

Vamos agora simular mentalmente a seguinte situação: uma população de organismos assexuados se encontra em um ambiente suficientemente bom para que todos consigam nutrientes necessários à sobrevivência e à reprodução. Se alguns deles começam a fazer reprodução sexuada, indivíduos diferentes serão produzidos, certo? Como a variação genética se dá ao acaso, a chance de esses indivíduos estarem menos bem adaptados do que os anteriores é grande.

5. Se o ambiente permanecer com estava antes, qual dos tipos de reprodução deve ter maior sucesso? Explique sua resposta.

Esse é um momento delicado, pois exige do aluno uma experiência mental. Você pode optar por fazer essa questão junto com eles. Esperamos que, ao final, eles percebam que a reprodução assexuada se sairia melhor que a sexuada.

Atenção: esse raciocínio não confirma a hipótese que a maioria dos alunos deve ter levantado na questão anterior.

{ RESPOSTA COMENTADA }

6. Mas... E se o ambiente for muito instável? Que tipo de reprodução se sairia melhor? Complete a tabela a seguir resumindo as ideias discutidas nas duas últimas questões.

Tipo de ambiente	Tipo de reprodução favorecida
Mais estável	
Mais instável	

Novamente, estamos fazendo uso de uma tabela para ajudar a organizar as ideias dos alunos.

Tipo de ambiente	Tipo de reprodução favorecida
Mais estável	Assexuada
Mais instável	Sexuada

{ RESPOSTA COMENTADA }

A tabela que você acabou de preencher contém previsões sobre a hipótese da variação ambiental para a origem do sexo. Essas previsões podem ser testadas. Basta que façamos uma pesquisa sobre a frequência das espécies assexuadas e sexuadas em ambientes instáveis e estáveis. Na tabela a seguir estão alguns resultados desse tipo de pesquisa.

Ambientes	Caraterística	Tipo de reprodução dominante
Água doce (rios, lagos)	Mais instável	Assexuada
Marinhos (oceanos, mares)	Mais estável	Sexuada
Topo de montanha	Mais instável	Assexuada
Florestas	Mais estável	Sexuada

Podemos estudar também as espécies que fazem os dois tipos de reprodução e avaliar em que tipo de ambiente cada uma delas é mais comum. Um caramujo que se reproduz tanto assexuada como sexuadamente foi estudado nos rios (mais instável) e lagos (mais estável) da Nova Zelândia.

Ambientes	Caraterística	Tipo de reprodução dominante
Rios	Mais instável	Assexuada
Lagos	Mais estável	Sexuada

Os resultados da tabela acima confirmam a teoria da hipótese da variação ambiental? Justifique sua resposta.

Acreditamos que, com o auxílio da tabela, os alunos concluíam com certa facilidade que a hipótese da variação ambiental não é confirmada pelos levantamentos de espécies.

{ RESPOSTA COMENTADA }

Dessa forma, a origem do sexo continuava sem resposta. Em 1980, um biólogo inglês, William Hamilton, propôs uma nova hipótese, hoje chamada de *hipótese da Rainha Vermelha*.

Essa hipótese parte da observação da relação que existe entre parasitas e hospedeiros. Os parasitas são organismos em geral bem menores que seu hospedeiro, têm um ciclo de vida curto e se reproduzem preferencialmente por reprodução assexuada. A prole possui alguma variação genética, visto que mutações ocorrem toda vez que uma célula se divide. Como o ciclo de vida é curto, muitas gerações se sucedem, e pode ocorrer mais variação por mutação. Veja a Figura 3.

Situação 1: Parasitas e hospedeiros reproduzindo-se assexuadamente

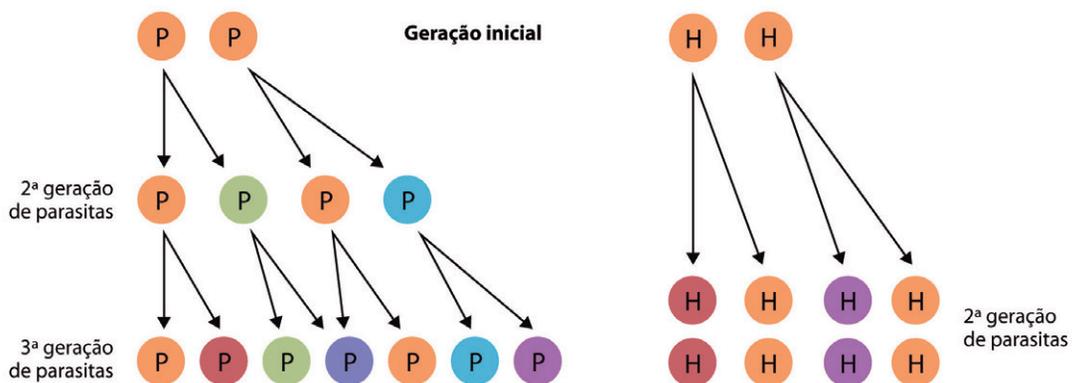


Figura 3: Na situação 1, parasitas (bolinhas P) e hospedeiros (bolinhas H) reproduzem-se assexuadamente. A cor da bolinha do parasita indica que ele tem afinidade genética com o hospedeiro da mesma cor e pode infectá-lo. Como os parasitas têm ciclo de vida curto, eles acumulam mais mutações e geram maior variedade de parasitas do que hospedeiros que têm ciclo de vida mais longo. Sempre há parasitas capazes de infectar hospedeiros e levá-los à morte.

Essa variação genética é importante porque os parasitas precisam vencer as barreiras imunológicas dos hospedeiros, que também são determinadas geneticamente. Se um tipo de parasita consegue contaminar certo tipo de hospedeiro, esse tipo tende a desaparecer. Em seguida, um novo tipo de hospedeiro, resistente ao parasita anterior, torna-se dominante na população e passa a ser alvo

fácil de outros tipos de parasitas, que possuem as variações genéticas capazes de driblar essas defesas específicas. Temos assim um caso de *coevolução*: os parasitas geram variação genética que dribla as defesas dos hospedeiros e estes geram novas formas genéticas de defesa contra os parasitas. Mas os hospedeiros têm ciclo de vida longo.

Chama-se de *coevolução* a interação entre duas ou mais espécies quando as mudanças evolutivas de uma delas interferem diretamente na evolução de outra e vice-versa.

Por exemplo: gazelas mais velozes são selecionadas para fugir dos felinos (leões e guepardos), seus predadores. Gazelas mais velozes acabam selecionando felinos mais velozes ou mais inteligentes para caçar em bando. Estes selecionam gazelas cada vez mais velozes e assim por diante.

7. Como vimos, os hospedeiros têm ciclo de vida longo. Se eles gerassem uma prole com variação genética apenas por mutação, essa quantidade de variação seria muito maior ou menor do que a dos parasitas (veja a Figura 3)?

Fizemos essa parada na explicação para dar tempo para o aluno sedimentar bem a relação entre reprodução assexuada e a baixa variabilidade genética originada por mutação. Ele deve concluir que, se muitos eventos de reprodução assexuada ocorrem (ciclo de vida curto), a variabilidade genética acaba sendo maior, se comparada a um número menor de eventos desse mesmo tipo de reprodução em animais de ciclo de vida longo, como a maior parte dos hospedeiros.

RESPOSTA COMENTADA

Portanto, os hospedeiros que desenvolvem uma forma de reprodução que produza uma prole (filhotes) com variação genética maior do que as mutações geradas pela reprodução assexuada serão beneficiados e selecionados, pois deixarão um número maior de descendentes capazes de escapar dos parasitas.

Observe o esquema a seguir.

Situação 2: parasitas reproduzindo-se assexuadamente e hospedeiros sexuadamente.

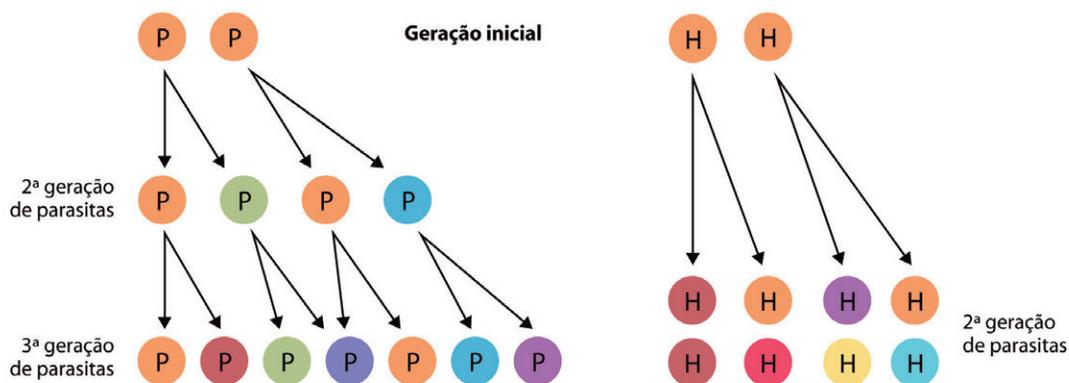


Figura 4: Na situação 2, os hospedeiros fazem reprodução sexuada. Agora, há mais hospedeiros geneticamente diferentes (os de cor vermelha, cinza, amarela e azul claro) que podem eventualmente escapar dos parasitas.

8. Que estratégia pode garantir que os hospedeiros sobrevivam ao ataque de parasitas diferentes?

Acreditamos que depois dessa discussão e da análise do esquema, o aluno responda que a reprodução sexuada deve ter sido selecionada.

{ RESPOSTA COMENTADA }

Como você sabe, para os cientistas as hipóteses precisam ser testadas. Os caramujos dos rios e lagos da Nova Zelândia são um bom modelo para esse teste, pois se reproduzem assexuada e sexuadamente. Lá, como já foi dito, as formas sexuadas predominam nos lagos e as formas assexuadas nos rios.

9. Se a hipótese da Rainha Vermelha estiver correta, onde deve ser encontrada a maior quantidade de parasitas?

Esperamos que o aluno não encontre dificuldade em responder que nos lagos a quantidade de parasitas era maior e por isso há uma forte pressão de seleção favorecendo os caramujos de reprodução sexuada.

Alguns alunos costumam afirmar que haveria mais parasitas no rio, pois estes encontrariam mais hospedeiros capazes de ser parasitados entre as populações assexuadas (de hospedeiros). Isso em parte é verdade, mas deve ser lembrado a eles que a presença de parasitas em um ambiente assim acaba por levar a seleção de hospedeiros a fazer reprodução sexuada.

De fato isso, foi observado, fortalecendo a hipótese da Rainha Vermelha.

{ RESPOSTA COMENTADA }

Há ainda um caso mais curioso, estudado entre peixes de um rio no México. Nesse rio, há peixes que se reproduzem tanto sexuada como assexuadamente e sofrem com o parasitismo de uma espécie de verme. Os pesquisadores descobriram que nas poças com mais parasitas dominavam as formas sexuadas e naquelas onde havia menos vermes os peixes assexuados eram dominantes, tudo de acordo com a hipótese da Rainha Vermelha. Durante uma seca, várias poças ficaram isoladas. Quando os pesquisadores voltaram, eles viram que havia uma população sexuada de peixes sofrendo com o parasitismo.

10. Isso confirma a hipótese da Rainha Vermelha? Justifique sua resposta.

Se os alunos estiverem entendendo, eles devem responder que não, pois a população sexuada gera filhotes com maior variabilidade genética, que dificultam a infecção por parte dos parasitas.

{ RESPOSTA COMENTADA }

Estudos genéticos posteriores mostraram que esses peixes eram resultado de cruzamentos consanguíneos entre parentes, o que reduz muito a variabilidade genética dos filhotes. Os pesquisadores resolveram buscar exemplares de peixes dessa mesma espécie vivendo em poças mais abaixo no rio e introduziram esses peixes naquela poça onde os parasitas estavam dominando. Como esses novos peixes introduziram novo material genético, meses depois, a variabilidade dos filhotes tinha aumentado e mais peixes estavam livres de parasitas.

11. Esse resultado confirma a hipótese da Rainha Vermelha? Justifique sua resposta.

Se os alunos estiverem entendendo, eles devem responder que sim. A variabilidade genética entre os novos peixes dificulta que parasitas ataquem um número maior de hospedeiros.

{ RESPOSTA COMENTADA }

Para finalizar, a reprodução sexuada criou a noção de indivíduo, e com ela a de morte. Veja por quê. Voltemos à planária da figura a seguir.

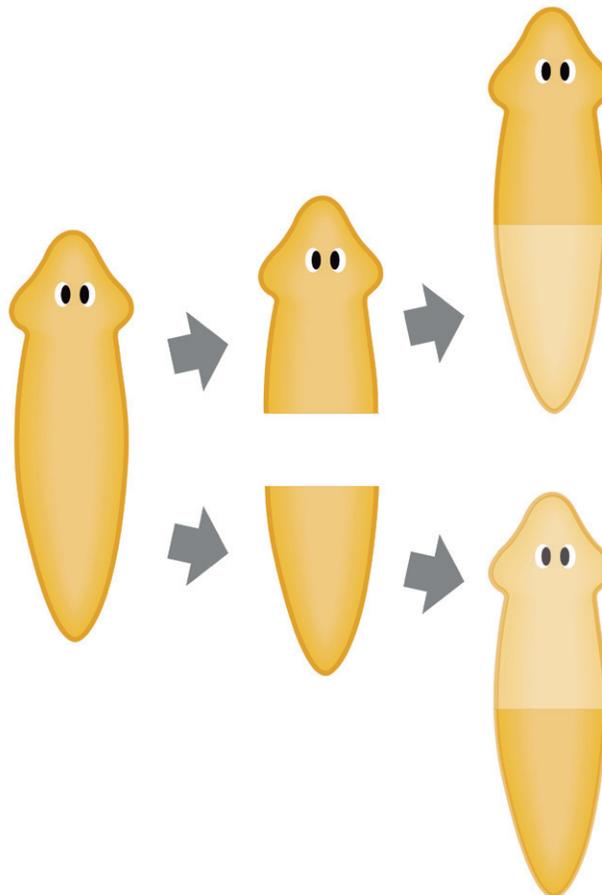


Figura 5: Uma planária é clone da outra. Não temos como dizer quem é filho de quem. Não há indivíduos distintos depois da reprodução.

Quando organismos reproduzem-se assexuadamente, não se pode dizer quem é filho de quem. Se um deles morre, sobra o clone, ou seja, ninguém morre! Na reprodução sexuada, dois organismos distintos dão origem a um terceiro. Se um deles morrer, sabemos o “nome” do defunto.

TRANSMISSÃO DA VIDA

Formação continuada de professores

Unidade 5

O Currículo Mínimo aborda os problemas relativos à transmissão e à manutenção da vida no nível celular e a relação desses fenômenos com a reprodução sexuada.

Estamos, portanto, diante das principais questões da Biologia Molecular que mudaram o curso da Biologia, da Medicina e da sociedade. Dessa forma, construímos nossa abordagem com base em dois pontos básicos. Inicialmente, entendemos que nossos alunos precisam de conhecimentos básicos de Biologia Molecular para que possam ter uma postura crítica diante da influência cada vez maior dessa ciência em nosso cotidiano. Não é à toa que os Parâmetros Curriculares afirmam, na página 19, que:

A descrição do material genético em sua estrutura e composição, a explicação do processo da síntese proteica, a relação entre o conjunto proteico sintetizado e as características do ser vivo e a identificação e descrição dos processos de reprodução celular são conceitos e habilidades fundamentais à compreensão do modo como a hereditariedade acontece.

Nosso outro ponto de apoio foi valorizar a abordagem histórica de grande parte dos conteúdos selecionados. Tal tratamento do conteúdo permite aos alunos contato com a evolução dos procedimentos científicos e o reconhecimento da atividade científica como uma construção humana cada vez mais complexa.

Do ponto de vista metodológico, lançamos mão de modelos para superar a dificuldade de abstração desses conteúdos que unem Biologia e Química. Os Parâmetros Curriculares também apontam nessa direção quando, na página 19, encontramos que:

Cabe também, nesse contexto, trabalhar com o aluno no sentido de ele perceber que a estrutura de dupla hélice do DNA é um modelo construído a partir dos conhecimentos sobre sua composição.

Buscamos, sempre que possível, privilegiar o enfoque evolutivo, valorizando as vantagens adaptativas que selecionaram esses processos, sem aprofundar detalhes bioquímicos, ainda distantes da arquitetura conceitual de alunos recém-chegados ao Ensino Médio.

Estratégias de avaliação

Avaliar é tarefa frequente para nós, professores. Por isso, muitas vezes apenas repetimos o que estamos acostumados a fazer. Mas, já que estamos refletindo sobre nossa forma de ensinar, adaptando-a para que nossos alunos aprendam mais e melhor, vamos fazer o mesmo com nosso estilo de avaliar?

A construção de modelos tridimensionais das moléculas de DNA, RNA e proteínas pode ser uma boa forma de reconstruir esses conceitos com os alunos e avaliar as dificuldades de aprendizagem. Certamente é um bom ponto de partida para conhecer o modo como os alunos entendem o assunto.

Ler textos de jornais ou periódicos de divulgação científica também pode funcionar como avaliação. A análise crítica do uso indevido de modelos e conceitos da Biologia Molecular em propagandas e textos de jornais e revistas pode ser uma boa forma de descobrir se os alunos estão fazendo a relação esperada entre o aprendizado e a vida prática.

O processo de avaliação deve ser contínuo, fazendo parte de todo o curso como forma de diagnóstico da aprendizagem. Devemos evitar uma só avaliação no final do curso, uma prova que apenas mostre se os alunos compreenderam ou não os conceitos. Essa maneira de avaliar dificilmente permite correções de rumo a fim de superar os problemas existentes.

É importante lembrarmos algo já dito: os alunos precisam saber fazer uma prova individual e sem consulta. Afinal, eles irão encontrar esse tipo de avaliação se quiserem continuar seus estudos depois da conclusão do Ensino Médio.

É necessário também reconhecer que o momento de avaliação é mais eficiente se oferecer ao aprendiz questões com diferentes níveis de dificuldade e oportunidades de usar diversos tipos de raciocínio: memorização, classificação, comparação, aplicação dos conceitos aprendidos em situações novas. Nós, professores, precisamos elaborar nossas avaliações com clareza e precisão, questionando conteúdos relevantes e de acordo com os objetivos estabelecidos.

Como dissemos durante todo este curso, os resultados da avaliação podem servir para repensarmos criticamente nossos objetivos, estratégias pedagógicas adotadas e até mesmo a qualidade da avaliação proposta.

Leituras recomendadas

- AGÊNCIA FAPESP – Divulgando a cultura científica.

Disponível em: <http://agencia.fapesp.br/>. Acesso em 15 jan. 2018

Esse informativo da Fundação de Amparo à Pesquisa de São Paulo dá acesso rápido a informações confiáveis sobre descobertas científicas ocorridas no Brasil e em outros países. A assinatura é gratuita e sua leitura é fácil e agradável. Além disso, o assinante pode consultar as matérias da *Revista Fapesp*, onde as notícias resumidas do informativo são expostas de maneira mais explicada e profunda.

- CIÊNCIA HOJE

Disponível em: <http://www.cienciahoje.org.br/>. Acesso em 15 jan. 2018.

Portal do Instituto Ciência Hoje. Reúne material das revistas *Ciência Hoje*, *Ciência Hoje das Crianças* e *Ciência Hoje online*. Ótima fonte de divulgação científica, feita com qualidade e em permanente atualização.

- GENÉTICA NA ESCOLA

Disponível em: <http://www.geneticaescola.com.br/>. Acesso em 15 jan. 2018.

A revista *online Genética na Escola* tem como objetivo subsidiar debates e reflexões sobre o ensino e a aprendizagem de Genética. O público-alvo é de professores do Ensino Médio e Superior. São muitos os artigos que descrevem atividades práticas que podem ser utilizadas em sala de aula.

- TIMELINE - 50 Years of Protein Structure Determination

Disponível em: <http://publications.nigms.nih.gov/psi/timeline.html>. Acesso em 15 jan. 2018.

Essa linha do tempo, apresentada como animação, é um interessante material de informação e estudo. Foi elaborada pelo National Institute of General Medical Sciences (EUA) para a comemoração dos cinquenta anos da criação de uma técnica para determinação da estrutura das proteínas, celebrados em 2008.

Sugestões de aulas/recursos educacionais

- A FECUNDAÇÃO EM 3D: REPRODUÇÃO HUMANA

Disponível em: <http://www.youtube.com/watch?v=lqeVYeSCp2I>. Acesso em 15 jan. 2018.

O vídeo mostra a liberação do ovócito II pelo ovário e sua união com o espermatozoide (fecundação), assim como as clivagens que ocorrem após a formação do zigoto.

- DIVISÃO CELULAR

Disponível em: <http://www.youtube.com/watch?v=AypKPEn41wM>. Acesso em 15 jan. 2018.

Vídeo da série “Viagem à Célula”, produzido pelo Projeto Embrião, da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), ilustra as etapas da intérfase.

Referências bibliográficas

ALBERTS, B.; JOHNSON, A.; LEWIS, J.; RAFF, M.; ROBERTS, K.; WALTER, P. **Biologia Molecular da Célula**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010. 1.396 p.

AMABIS, J. M.; MARTHO, G. R. Trabalhando temas fundamentais: código genético e síntese de proteínas. **Temas de Biologia – Propostas para desenvolver em sala de aula**, São Paulo, Editora Moderna, n. 7, jan. 1998.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. **Orientações Curriculares Nacionais para o Ensino Médio**. Vol. 2. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília: MEC/SEB, 2006. 135 p. Disponível em: http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/book_volume_02_internet.pdf. Acesso em: 7 mar. 2012.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. **Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio**. Brasília: MEC/SEF, 1999. 58 p. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/ciencian.pdf>. Acesso em: 26 jan. 2013.

CAMPBELL, N. A.; REECE, J. B.; URRY, L. A.; CAIN, M. L.; WASSERMANN, S. A.; MINORSKY, P. V.; JACKSON, R. B. **Biologia**. 8. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010. 1.464 p.

DEVLIN, T. M. **Manual de Bioquímica com correlações clínicas**. 6. ed. São Paulo: Blucher, 2007. 1.186 p.

FONSECA, C. R. Sexo, plumas e parasitas. **Ciência Hoje**, v. 26(155), p. 26-33, 1994.

HARDIN, E. P. Molecular genetic analysis of circadian timekeeping in *Drosophila*. *Advances in Genetics*, v. 74, p. 141–173, 2011.

LEWIN, B. **Genes IX**. 9. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 912 p.

LIVELY, C. M. Host-parasite coevolution and sex. **Bioscience**, v. 46(2), p. 107-115, 1996.

SADAVA, D.; HELLER, H. C.; ORIANI, G. H.; PURVES, W. K.; HILLIS, D. M. **Vida: a ciência da Biologia**. Trad. Carla Denise Bonan. 8. ed., 3 v. Porto Alegre: Artmed, 2009.

SOLOMON, P.; BERG, L.; MARTINA, D.; VILLEE, C. **Biology**. 4. ed. Filadélfia: Saunders College Publishing, 1996.

THIEMANN, O. H. A descoberta da estrutura do DNA: de Mendel a Watson e Crick. **Química Nova na Escola**, v. 17, p. 13-19, 2003.

TOGASHI, T.; COX, P. A. **The evolution of anisogamy: a fundamental phenomenon underlying sexual selection**. New York: Cambridge University Press, 2011. 250 p.

WILKINS, A. S.; HOLLIDAY, R. The evolution of meiosis from mitosis. **Genetics**, v. 181, p. 3-12, 2009.

ZIMMER, C. On the origin of sexual reproduction. **Science**, v. 324, p. 1.245-1.256, 2009.