



APOSTILA DE ESTUDO • ENEM

BIOLOGIA

Seis assuntos com teoria, exercício resolvido e questão para praticar, mais os macetes que separam quem entendeu de quem decorou.

O QUE TEM AQUI DENTRO

OS SEIS ASSUNTOS

01	Citologia O que existe dentro de uma célula, e por que cada peça está ali.	05
02	Genética Dado o que os pais carregam, o que pode aparecer no filho, e com que chance.	15
03	Evolução Por que existem tantas formas de vida, e o que explica cada uma ser adequada ao lugar onde vive.	25
04	Microbiologia e saúde Quem causa doença, como o corpo reage e o que cada tecnologia de saúde faz.	36
05	Fisiologia humana Como cada sistema do corpo faz o seu trabalho.	46
06	Ecologia Como matéria e energia circulam entre os seres vivos, com a fisiologia vegetal dentro.	56

PARA CONSULTAR A QUALQUER MOMENTO

Como usar esta apostila	03
Mapa de conexões entre os assuntos	04
Formulário Todas as contas do material, agrupadas por assunto.	66
Gabarito comentado Resposta e o motivo do erro das 24 questões de praticar.	70

COMO USAR ESTA APOSTILA

Biologia não entra por leitura passiva. O que fixa é tentar a questão, errar e entender onde errou. Esta apostila foi montada nessa ordem.

- 01 Tente antes de ler a resolução.** Cada assunto traz dois exercícios resolvidos com o enunciado completo. Cubra a resolução, tente sozinho e só depois confira.
- 02 Leia a teoria quando ela fizer falta.** As três páginas de teoria de cada assunto existem para você voltar quando um exercício travar.
- 03 Pratique sem espiar o gabarito.** As quatro questões que fecham cada assunto não trazem resposta ao lado, de propósito. O gabarito comentado fica nas últimas páginas.
- 04 Volte ao que errou depois de alguns dias.** Errar de novo na segunda tentativa é o sinal de que aquela teoria pede outra leitura.

TODO ASSUNTO SEGUE A MESMA SEQUÊNCIA

ABERTURA E TEORIA

O que o assunto responde, o recorte que a prova prefere e a teoria em três páginas.

DICA DO PROF E RESOLVIDOS

Os macetes do professor e duas questões reais resolvidas passo a passo.

DERRUBA E PRATICAR

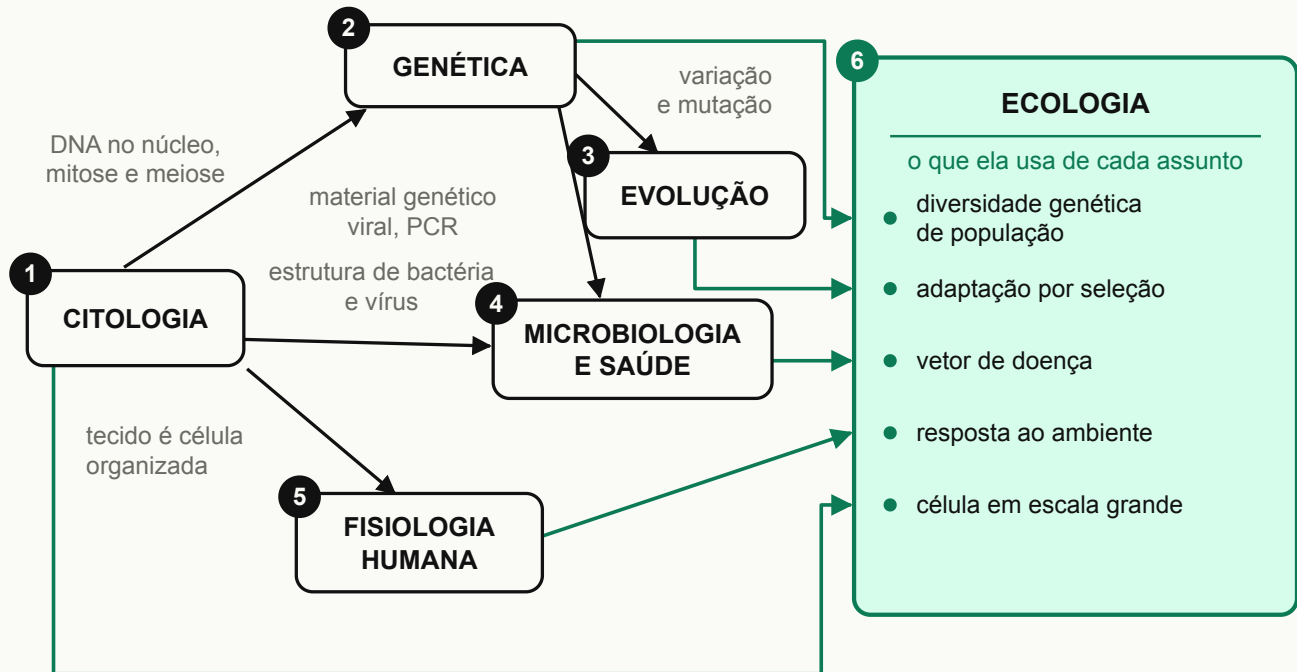
As pegadinhas do assunto e quatro questões para você tentar sozinho.

UMA REGRA QUE VALE O MATERIAL INTEIRO

Evolução não tem intenção. Nenhum organismo desenvolve uma característica para resolver um problema, ele sobrevive ou não sobrevive com o que já tinha. Essa distinção aparece o tempo todo, e o assunto 03 explica por quê.

SEIS ASSUNTOS QUE SE APOIAM ENTRE SI

Biologia é uma matéria em que os assuntos se cruzam o tempo todo. A ordem desta apostila segue dependência de conteúdo, e o diagrama abaixo mostra por quê.



POR QUE CITOLOGIA ABRE

Toda célula viva compartilha essa estrutura. Genética acontece dentro do núcleo, microrganismo é célula procarionte, tecido é célula organizada.

POR QUE ECOLOGIA FECHA

Porque ela usa todas as outras. Diversidade genética de população é genética, adaptação por seleção é evolução, vetor de doença é microbiologia. A fisiologia vegetal mora dentro dela, como subtema.

CITOLOGIA

O que existe dentro de uma célula, e por que cada peça está ali.

1

célula basta para um organismo inteiro funcionar, como em uma bactéria ou em uma ameba. O corpo humano tem cerca de 30 trilhões, e todas elas repetem o mesmo projeto básico.

POR QUE CAI

Citologia quase nunca aparece pedindo o nome de uma organela. A prova monta um experimento, uma droga que age em algum ponto, um meio que muda de concentração ou uma temperatura que sobe, e pergunta qual estrutura foi afetada ou o que acontece com a célula. Você precisa saber o que cada parte faz, porque a pergunta sempre chega pelo efeito, e não pelo nome.

O QUE ESTUDAR PRIMEIRO

- ☐ A membrana e o transporte de água, o mecanismo mais cobrado do assunto
- ☐ A mitocôndria e o caminho da energia, com o gradiente de prótons no centro
- ☐ Como a enzima funciona, e o que a desmonta
- ☐ O citoesqueleto, responsável por forma e movimento
- ☐ A divisão celular, com atenção ao que acontece com os cromossomos

NA PRÁTICA

Duas das seis questões deste assunto tratam do mesmo ponto da respiração celular, atacado por caminhos diferentes. Uma usa um veneno proibido como emagrecedor, a outra usa um urso que acorda da hibernação.

A fronteira da célula, e a água que atravessa

A membrana plasmática separa o interior da célula do que está fora, mas ela não é uma parede fechada. Ela é **seletivamente permeável**, o que significa que deixa passar algumas coisas com facilidade e barra outras.

A água atravessa sempre, e a favor do soluto. Esse movimento é a **osmose**, e ele vai do meio menos concentrado em soluto para o mais concentrado. Nada disso gasta energia, e é por isso que a osmose é transporte passivo.

Meio hipotônico

Tem menos soluto que a célula, então a água entra.

Meio hipertônico

Tem mais soluto que a célula, então a água sai.

Meio isotônico

Tem a mesma concentração, e o fluxo se equilibra.

O que acontece depende de a célula ter parede. Uma célula animal em meio hipotônico incha e pode romper. Uma célula vegetal, com **parede celular** de celulose por fora da membrana, não rompe, porque a parede resiste. O que incha nela é o **vacúolo**, a grande bolsa de água do interior, e o conteúdo dele fica mais diluído.

Em meio hipertônico acontece o inverso, e a célula vegetal murcha por dentro enquanto a parede mantém o contorno.

Transporte que gasta energia. Quando a substância precisa ir contra o gradiente, a célula gasta ATP. É o **transporte ativo**, e a bomba de sódio e potássio é o exemplo padrão.

GUARDE ISTO

Osmose é movimento de água, sempre em direção ao meio mais concentrado em soluto. Em célula vegetal, a parede impede o rompimento, e quem responde ao ganho de água é o vacúolo.

Onde a célula fabrica energia

A célula não usa glicose diretamente para trabalhar. Ela converte a energia da glicose em **ATP**, a moeda que todo processo celular aceita.

A respiração celular acontece em três etapas:

Glicólise

No citoplasma, quebra a glicose em duas moléculas de piruvato e rende pouco ATP.

Ciclo de Krebs

Na matriz da mitocôndria, termina a quebra e carrega transportadores de elétrons.

Cadeia respiratória e fosforilação oxidativa

Na membrana interna da mitocôndria, é onde sai a maior parte do ATP.

O detalhe que a prova explora está na terceira etapa. Os elétrons percorrem proteínas da membrana interna, e essa passagem bombeia prótons (H^+) da matriz para o espaço entre as duas membranas. Isso cria um **gradiente**, com mais prótons de um lado que do outro.

Os prótons voltam para a matriz passando por uma proteína específica, a **ATP sintetase**, e é essa passagem que produz o ATP. O gradiente é a represa, e a ATP sintetase é a turbina.

Desmontar o gradiente derruba a produção de ATP. Qualquer substância que devolva os prótons à matriz por fora da ATP sintetase dissipa a represa sem gerar nada. A energia que iria para o ATP sai como calor.

Isso tem dois lados. Em um urso que precisa aquecer o corpo para despertar, gerar calor em vez de ATP é útil. Em uma pessoa que ingere um desacoplador como medicamento, a célula queima nutriente sem produzir energia, o corpo esquenta de forma descontrolada e o quadro pode ser fatal.

GUARDE ISTO

O ATP da respiração celular vem do retorno dos prótons pela ATP sintetase. Furar o gradiente por outro caminho produz calor no lugar de ATP, e é assim que age tanto a termogenina do urso quanto o desacoplador usado como emagrecedor.

Enzima, esqueleto e divisão

A enzima acelera a reação sem se gastar. Ela funciona por encaixe, com uma região específica chamada **sítio ativo** que recebe o substrato. O encaixe depende da forma tridimensional da proteína.

E é essa forma que a temperatura e o pH desmontam. Até certo ponto, aquecer aumenta a velocidade da reação, porque as moléculas se encontram mais. Passando do ponto ideal, a estrutura da enzima se desfaz, o sítio ativo perde o formato e a atividade despenca. Esse desmonte é a **desnaturação**, e ele não se reverte.

Repare no formato do resultado. Se um experimento mostra a atividade subindo, atingindo um pico e caindo depois, o que explica a queda é a desnaturação, e não falta de substrato nem consumo da enzima.

O citoesqueleto sustenta e movimenta. É uma rede de filamentos proteicos dentro da célula, com dois componentes que a prova cobra:

Microfilamentos, de actina

Respondem pela forma da célula e pelos movimentos de contração e de emissão de pseudópodes.

Microtúbulos, de tubulina

Formam o fuso que puxa os cromossomos na divisão celular.

Uma droga que desmonta microfilamentos compromete forma e movimento. Uma droga que ataca microtúbulos trava a separação dos cromossomos.

A divisão celular reparte o material genético. Na **mitose**, uma célula gera duas idênticas a ela. Na **meiose**, uma célula gera quatro com metade do número de cromossomos, e é ela que produz os gametas.

Nas duas, o fuso puxa os cromossomos para os polos. Quando um fragmento de cromossomo se perde nesse puxão, ele pode formar um pequeno núcleo separado, o **micronúcleo**, usado em laboratório como sinal de dano genético.

GUARDE ISTO

Enzima trabalha por forma, então tudo que desmonta a forma derruba a atividade. Microfilamento cuida de forma e movimento, microtúbulo cuida de puxar cromossomo, e micronúcleo é pedaço de cromossomo que ficou para trás na divisão.

Como acertar citologia pelo efeito

01 A água persegue o soluto

Nunca decore a direção da osmose. Pergunte onde tem mais soluto, e é para lá que a água vai. Isso resolve célula murcha, célula inchada, batata em salmoura e conserva de alimento com sal.

02 Parede não é membrana

Toda célula viva tem membrana. Parede celular é um extra que planta, fungo e bactéria têm, e célula animal não. Quando a alternativa falar em rompimento de célula vegetal por excesso de água, desconfie.

03 Sobe, pica e despenca é desnaturação

Se a atividade enzimática cresce, atinge um máximo e cai forte com a temperatura, a explicação é a enzima perdendo a forma. Consumo de enzima daria queda contínua desde o início.

04 Forma e movimento são actina, cromossomo é tubulina

Célula que perdeu o formato ou parou de se mover aponta para microfilamento. Cromossomo que não se separou aponta para microtúbulo.

05 Ache a etapa pelo lugar

Glicólise acontece no citoplasma, o resto acontece na mitocôndria. Membrana interna, gradiente de prótons ou ATP sintetase apontam para fosforilação oxidativa.

**A represa fica entre as membranas.
A turbina é a ATP sintetase.**

Entender a mitocôndria como represa e turbina resolve as duas questões de respiração celular deste assunto

ENEM 2022

As células da epiderme da folha da *Tradescantia pallida purpurea*, uma herbácea popularmente conhecida como trapoeraba-roxa, contém um vacúolo onde se encontra um pigmento que dá a coloração arroxeada a esse tecido. Em um experimento, um corte da epiderme de uma folha da trapoeraba-roxa foi imerso em ambiente hipotônico e, logo em seguida, foi colocado em uma lâmina e observado em microscópio óptico.

Durante a observação desse corte, foi possível identificar o(a)

- (A) acúmulo do solvente com fragmentação da organela.
- (B) rompimento da membrana celular com liberação do citosol.
- (C) aumento do vacúolo com diluição do pigmento no seu interior.
- (D) quebra da parede celular com extravasamento do pigmento.
- (E) murchamento da célula com expulsão do pigmento do vacúolo.

Como resolver

- 01** Ambiente hipotônico tem menos soluto que o interior da célula, então a água entra por osmose.
- 02** Em célula vegetal, a parede celular impede que a célula estoure. Quem incha é o vacúolo, a maior reserva de água interna.
- 03** O vacúolo aumentado dilui o pigmento que carrega, sem rompimento de membrana nem quebra de parede.

C

Resposta correta · **aumento do vacúolo** com diluição do pigmento no seu interior

ENEM 2019

O 2,4-dinitrofenol (DNP) é conhecido como desacoplador da cadeia de elétrons na mitocôndria e apresenta um efeito emagrecedor. Contudo, por ser perigoso e pela ocorrência de casos letais, seu uso como medicamento é proibido em diversos países, inclusive no Brasil. Na mitocôndria, essa substância captura, no espaço intermembranas, prótons (H^+) provenientes da atividade das proteínas da cadeia respiratória, retornando-os à matriz mitocondrial. Assim, esses prótons não passam pelo transporte enzimático na membrana interna.

O efeito emagrecedor desse composto está relacionado ao(à)

- (A) obstrução da cadeia respiratória, resultando em maior consumo celular de ácidos graxos.
- (B) bloqueio das reações do ciclo de Krebs, resultando em maior gasto celular de energia.
- (C) diminuição da produção de acetil CoA, resultando em maior gasto celular de piruvato.
- (D) inibição da glicólise, resultando em maior absorção celular da glicose sanguínea.
- (E) redução da produção de ATP, resultando em maior gasto celular de nutrientes.

GRUNDLINGH, J. et al. 2,4-Dinitrophenol (DNP): a Weight Loss Agent with Significant Acute Toxicity and Risk of Death. *Journal of Medical Toxicology*, v. 7, 2011. Adaptado.

Como resolver

- 01** O gradiente de prótons entre o espaço intermembranas e a matriz é o que move a ATP sintetase. É esse gradiente que produz ATP.
- 02** O DNP devolve os prótons à matriz sem passar pela ATP sintetase, então o gradiente se dissipa sem gerar ATP.
- 03** Com menos ATP disponível, a célula precisa oxidar mais nutriente para manter a mesma energia, e isso é o efeito emagrecedor.

E

Resposta correta · **redução da produção de ATP**, com maior gasto de nutrientes

As quatro confusões que custam ponto

Dizer que a célula vegetal estoura em água pura

Célula animal em meio hipotônico incha e pode romper. Célula vegetal, no mesmo meio, incha até a parede segurar e para por aí. A alternativa que fala em rompimento de membrana ou extravasamento do pigmento numa célula vegetal está aproveitando quem esqueceu que a parede existe.

Explicar queda de atividade enzimática por falta de substrato

Quando a atividade cai depois de um pico de temperatura, o substrato continua lá. O que mudou foi a enzima, que perdeu a forma tridimensional. Falta de substrato e consumo de enzima produzem curvas diferentes, e nenhuma das duas tem pico seguido de queda.

Confundir gerar calor com gerar energia

Um desacoplador aumenta o gasto de nutriente e produz calor, mas **reduz** a produção de ATP. Quem lê “gera calor” e conclui “gera mais energia para a célula” inverte o mecanismo.

Tratar micronúcleo como organela

Micronúcleo não é uma estrutura normal da célula, e não tem função. Ele é um acidente da divisão celular, um pedaço de cromossomo que não chegou ao polo e ficou envolvido por membrana à parte.

Agora é com você

01

ENEM 2024

O esquema representa um experimento feito com células do protozoário *Amoeba proteus*. Nele, um grupo de células foi tratado com a droga citocalasina B, enquanto outro grupo não foi tratado, servindo como controle. O formato e o movimento das células tratadas foram comprometidos.

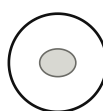
EXPERIMENTO COM CÉLULAS DE AMEBA

GRUPO CONTROLE sem a droga



forma irregular, com pseudópodos
e movimento preservado

GRUPO TRATADO com citocalasina B



forma arredondada, sem pseudópodos
e movimento comprometido

SADAVA, D. et al. *Vida: a ciência da biologia, volume I, célula e hereditariedade*. Porto Alegre: Artmed, 2009. Adaptado.

Qual componente celular foi afetado pela droga utilizada no experimento?

- (A) Vacúolos.
- (B) Mitocôndrias.
- (C) Microfilamentos.
- (D) Material genético.
- (E) Membrana plasmática.

02

ENEM 2022

Os ursos, por não apresentarem uma hibernação verdadeira, acordam por causa da presença de termogenina, uma proteína mitocondrial que impede a chegada dos prótons até a ATP sintetase, gerando calor. Esse calor é importante para aquecer o organismo, permitindo seu despertar.

SADAVA, D. et al. *Vida: a ciência da biologia*. Porto Alegre: Artmed, 2009. Adaptado.

Em qual etapa do metabolismo energético celular a termogenina interfere?

- (A) Glicólise.
- (B) Fermentação láctica.
- (C) Ciclo do ácido cítrico.
- (D) Oxidação do piruvato.
- (E) Fosforilação oxidativa.

Gabarito comentado na página 70

Agora é com você

03

ENEM 2022

Em uma aula prática de bioquímica, para medir a atividade catalítica da enzima catalase, foram realizados seis ensaios independentes, nas mesmas condições, variando-se apenas a temperatura. A catalase decompõe o peróxido de hidrogênio (H_2O_2), produzindo água e oxigênio. Os resultados dos ensaios estão apresentados no quadro.

ENSAIO	TEMPERATURA ($^{\circ}\text{C}$)	DECOMPOSIÇÃO DE H_2O_2 (10^{-12} MOL/MIN)
1	10	8,0
2	15	10,5
3	20	9,5
4	25	5,0
5	30	3,6
6	35	3,1

Os diferentes resultados dos ensaios justificam-se pelo(a)

- (A) variação do pH do meio.
- (B) aumento da energia de ativação.
- (C) consumo da enzima durante o ensaio.
- (D) diminuição da concentração do substrato.
- (E) modificação da estrutura tridimensional da enzima.

04

ENEM 2023

Avaliação de substâncias genotóxicas. O ensaio de micronúcleos é um teste de avaliação de genotoxicidade que associa a presença de micronúcleos (pequenos núcleos que aparecem próximo aos núcleos das células) com lesões genéticas. Os micronúcleos são fragmentos de DNA encapsulados, provenientes do fuso mitótico durante a divisão celular.

DIAS, V. M. Micronúcleos em células tumorais: biologia e implicações para a tumorigênese. Dissertação de Mestrado. USP, 2006. Adaptado.

Os micronúcleos se originam dos(as)

- (A) nucléolos.
- (B) lisossomos.
- (C) ribossomos.
- (D) mitocôndrias.
- (E) cromossomos.

Gabarito comentado na página 70

GENÉTICA

Dado o que os pais carregam, o que pode aparecer no filho, e com que chance.

3

nucleotídeos formam um códon, e é esse trio que decide qual aminoácido entra na proteína. Trocar uma única letra pode não mudar nada, mudar um aminoácido ou parar a proteína no meio.

POR QUE CAI

Genética chega de duas formas na prova, e quase nunca como conta de probabilidade pura. A primeira é leitura de figura, com heredograma, cariótipo ou esquema de cruzamento, em que o enunciado entrega os dados e cobra que você saiba ler o símbolo. A segunda é leitura de técnica, com transgenia, PCR, terapia gênica e vacina de RNA mensageiro, em que a pergunta é o que a técnica faz, não como executá-la.

O QUE ESTUDAR PRIMEIRO

- ☐ O caminho do gene até a proteína, que explica o efeito de uma mutação
- ☐ As duas leis de Mendel, e o caso em que a segunda deixa de valer
- ☐ Herança ligada ao cromossomo X, que o heredograma quase sempre cobra
- ☐ Alteração no número de cromossomos, com a trissomia do 21 como caso central
- ☐ Biotecnologia lida como técnica, sem decorar protocolo de laboratório

AS CONTAS DO ASSUNTO

$$p + q = 1$$

$$p^2 + 2pq + q^2 = 1$$

$$\text{com 3 alelos: } p + q + r = 1$$

NA PRÁTICA

De todas as questões deste material, a do sistema ABO (ENEM 2020) é a única que exige conta fechada até o fim. As outras cinco de Genética se resolvem lendo símbolo, contando cromossomo ou reconhecendo o que uma técnica faz.

Do gene até a proteína

O DNA guarda a informação, mas quem trabalha na célula é a proteína. Entre os dois existe um caminho de duas etapas, e entender esse caminho é o que permite prever o efeito de qualquer mutação.

Transcrição

No núcleo, a informação de um trecho de DNA é copiada para uma molécula de RNA mensageiro. É cópia, não mudança de conteúdo.

Tradução

No citoplasma, o ribossomo lê o RNA mensageiro de três em três letras e encaixa um aminoácido para cada trio.

O código genético é lido em trincas. Cada trio de nucleotídeos é um **códon**, e cada códon corresponde a um aminoácido. São 64 códons possíveis para apenas 20 aminoácidos, então aminoácido tem mais de um códon, e é por isso que certas trocas de letra não mudam nada na proteína final.

Três códons não codificam aminoácido nenhum e funcionam como ponto final. São **UAA, UAG e UGA**, os códons de parada. O ribossomo chega neles e solta a proteína pronta.

O que uma mutação faz depende de onde ela cai:

- Troca de uma letra que não muda o aminoácido, pela redundância do código
- Troca de uma letra que muda o aminoácido, com efeito de nenhum a grave
- Troca que cria um códon de parada, e a proteína sai curta
- Perda ou ganho de uma letra, que desloca o quadro de leitura inteiro

GUARDE ISTO

A leitura é sempre de três em três, a partir de um ponto de início fixo. Perder ou ganhar uma letra muda tudo o que vem depois. Trocar uma letra sozinha mexe, no máximo, num aminoácido, exceto quando a troca cria um códon de parada.

Mendel, e o ponto em que a segunda lei falha

Mendel cruzou ervilhas e chegou a dois princípios que ainda organizam o assunto inteiro.

Primeira lei, da segregação. Cada característica é determinada por um par de **alelos**, que se separam na formação dos gametas.

Homozigoto e heterozigoto

Carrega dois alelos iguais, ou dois diferentes.

Dominante e recessivo

Dominante se manifesta mesmo sozinho, recessivo só aparece em dose dupla.

Segunda lei, da distribuição independente. Pares diferentes de alelos se separam de forma independente. **E aqui está o limite que a prova adora cobrar.** Isso só vale quando os dois genes estão em cromossomos diferentes, ou muito afastados no mesmo cromossomo. Genes próximos tendem a viajar juntos, o que se chama **ligação gênica**.

Quando o gene tem mais de dois alelos. O sistema ABO funciona com três, I^A , I^B e i . Os dois primeiros dominam o terceiro, mas não dominam um ao outro, e quem carrega I^A e I^B expressa os dois. É a **codominância**.

Quando as frequências param quietas. Numa população grande, com cruzamento ao acaso e sem seleção, migração ou mutação relevante, a proporção dos alelos se mantém. É o equilíbrio de **Hardy-Weinberg**. O caminho de cálculo começa pelo homozigoto recessivo, o único genótipo que se lê direto do fenótipo.

GUARDE ISTO

A segunda lei de Mendel vale para genes em cromossomos diferentes. Genes vizinhos são herdados juntos com frequência, e é esse o caso que a prova usa para perguntar por que a distribuição independente nem sempre acontece.

Sexo, cromossomo e o que sai do lugar

O par que define o sexo. A mulher tem dois X, o homem tem um X e um Y. Quem determina o sexo do bebê é o gameta do pai, e o filho homem recebe o Y do pai e, obrigatoriamente, o X da mãe.

Herança ligada ao X. Daltonismo e hemofilia ficam no X, sem correspondente no Y. O homem tem uma cópia só desse gene, então um único alelo recessivo já se manifesta. A mulher precisa de dois. É por isso que existem muito mais homens daltônicos, e por isso que uma mulher daltônica só nasce de pai daltônico.

Como ler um heredograma. Círculo é mulher, quadrado é homem, símbolo preenchido é quem manifesta. Um ponto dentro do círculo marca a mulher portadora, que carrega o alelo sem manifestar.

Inativação do X. Toda mulher tem dois X, mas cada célula desliga um deles ao acaso. O resultado é um corpo em que parte das células usa o X do pai e parte usa o da mãe, o **mosaicismo**. Em mulheres heterozigotas para doença recessiva ligada ao X, isso faz a manifestação variar, o que se chama **expressividade variável**.

Quando um cromossomo inteiro sai do lugar. Na meiose, se um par não se separa corretamente, é a **não disjunção**. Um gameta com dois cromossomos 21, fecundando um gameta normal, gera zigoto com três cromossomos 21, a síndrome de Down.

GUARDE ISTO

O filho homem recebe o X da mãe e o Y do pai, sempre. Por isso, em característica recessiva ligada ao X, o homem afetado herdou o alelo da mãe, e a mulher afetada só existe quando o pai também é afetado.

Como ler heredograma sem se perder

01 Comece sempre pelo recessivo

Quem manifesta a característica recessiva entrega o genótipo de graça, porque só existe uma combinação possível. Use esses para deduzir os pais.

02 O homem não tem par no X

Como o homem tem um X só, ele nunca é portador de característica ligada ao X. Ou ele manifesta, ou não carrega.

03 Mulher afetada denuncia o pai

Se aparecer mulher que manifesta característica recessiva ligada ao X, o pai dela também manifesta, sem exceção.

04 Conte gametas, não filhos

Em trissomia, monte as possibilidades pelo que cada gameta pode levar, e só depois combine. As somas possíveis no zigoto são dois, três ou quatro.

05 Hardy-Weinberg entra pelo recessivo

O homozigoto recessivo é o único genótipo que se lê direto no fenótipo. Tire a raiz da frequência dele e resolva o resto por subtração.

O X vem da mãe, o Y vem do pai.
Filho daltônico, olhe para a mãe.

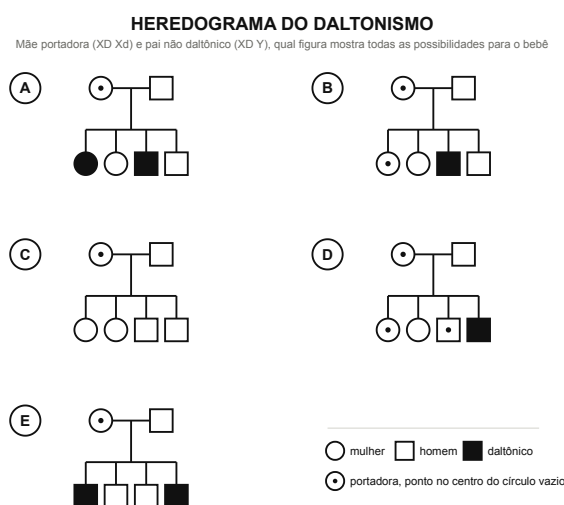
Decide de quem veio o alelo e explica por que homem afetado é mais comum

ENEM 2024

Um dos exemplos mais conhecidos de herança recessiva ligada ao cromossomo X é o daltonismo. Como em qualquer distúrbio recessivo ligado ao cromossomo X, existem muito mais homens apresentando o fenótipo com esse tipo de daltonismo do que mulheres. Um casal formado por um homem não daltônico e por uma mulher gestante também não daltônica, mas portadora do gene recessivo para esse tipo de daltonismo, está esperando um bebê. Em uma das consultas de pré-natal, o casal recebeu um heredograma que contém todas as possibilidades de genótipo para esse bebê.

GRIFFITHS, A. et al. *Introdução à genética*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2016. Adaptado.

Qual heredograma foi recebido pelo casal?



Como resolver

- 01** Mãe heterozigota ($X^D X^d$) × pai não daltônico ($X^D Y$): os quatro genótipos possíveis na prole têm 25% de chance cada.
- 02** Entre as filhas, nenhuma é daltônica, porque o pai não carrega o alelo recessivo.
- 03** Entre os filhos, metade é daltônico e metade não, porque o filho recebe o X só da mãe.

B

Resposta correta · duas filhas não daltônicas (uma portadora) e dois filhos (um daltônico)

ENEM 2023

Pais com síndrome de Down. A síndrome de Down é uma alteração genética associada à trissomia do cromossomo 21, ou seja, o indivíduo possui três cromossomos 21 e não um par, como é normal. Isso ocorre pela união de um gameta contendo um cromossomo 21 com um gameta possuidor de dois cromossomos 21. Embora, normalmente, as mulheres com a síndrome sejam estéreis, em 2008, no interior de São Paulo, uma delas deu à luz uma menina sem a síndrome de Down.

MORENO, T. *Três anos após dar à luz, mãe portadora de síndrome de Down revela detalhes de seu dia a dia.* Disponível em: www.band.uol.com.br. Acesso em: 31 out. 2013. Adaptado.

Sabendo disso, um jovem casal, ambos com essa síndrome, procura um médico para aconselhamento genético. O médico informa que, com relação ao cromossomo 21, os zigotos formados serão

- (A) todos normais.
- (B) todos tetrassômicos.
- (C) apenas normais ou tetrassômicos.
- (D) apenas trissômicos ou tetrassômicos.
- (E) normais, trissômicos ou tetrassômicos.

Como resolver

- 01** Cada progenitor com a síndrome produz gametas com 1 ou 2 cromossomos 21.
- 02** Combinando as quatro uniões possíveis: zigoto com 2 (normal), 3 (trissômico) ou 4 (tetrassômico) cromossomos 21.
- 03** As três situações são possíveis, não apenas uma combinação.

EResposta correta · **normais, trissômicos ou tetrassômicos**

As quatro confusões que custam ponto

Achar que dominante significa mais comum

Dominante diz respeito a como o alelo se manifesta, não a quantas pessoas o carregam. A polidactilia é dominante e rara. O tipo O é recessivo e é o mais frequente no Brasil.

Passar o X do pai para o filho homem

O filho homem recebe o Y do pai. Pai daltônico transmite o alelo para todas as filhas, que ficam portadoras, e para nenhum filho homem.

Somar as chances de filhos diferentes

Cada gestação é evento independente. Um casal com chance de um em quatro continua com um em quatro na gestação seguinte, sem cair nem subir.

Confundir mosaicismismo com mutação

No mosaicismismo da inativação do X, nenhuma sequência de DNA foi alterada. O que muda é qual cromossomo X está desligado em cada célula, não o material genético.

Agora é com você

01

ENEM 2019

Com base nos experimentos de plantas de Mendel, foram estabelecidos três princípios básicos, conhecidos como leis da uniformidade, segregação e distribuição independente. A lei da distribuição independente refere-se ao fato de que os membros de pares diferentes de genes segregam-se independentemente, uns dos outros, para a prole.

TURNPENNY, P. D. *Genética médica*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009. Adaptado.

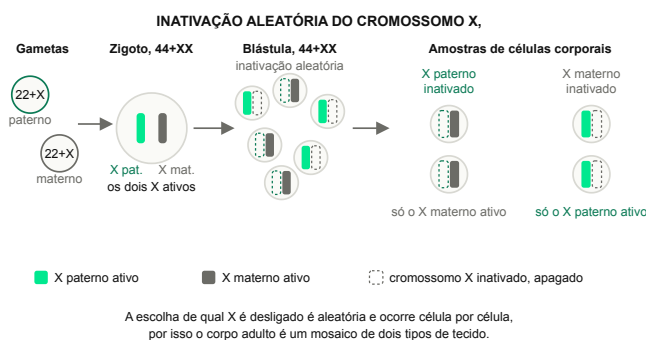
Hoje, sabe-se que isso nem sempre é verdade. Por quê?

- (A) A distribuição depende do caráter de dominância ou recessividade do gene.
- (B) Os organismos nem sempre herdam cada um dos genes de cada um dos genitores.
- (C) As alterações cromossômicas podem levar a falhas na segregação durante a meiose.
- (D) Os genes localizados fisicamente próximos no mesmo cromossomo tendem a ser herdados juntos.
- (E) O cromossomo que contém dois determinados genes pode não sofrer a disjunção na primeira fase da meiose.

02

ENEM 2022

Na figura está representado o mosaicismismo em função da inativação aleatória de um dos cromossomos X, que ocorre em todas as mulheres sem alterações patológicas.



Entre mulheres heterozigotas para doenças determinadas por genes recessivos ligados ao sexo, essa inativação tem como consequência a ocorrência de

- (A) pleiotropia.
- (B) mutação gênica.
- (C) interação gênica.
- (D) penetrância incompleta.
- (E) expressividade variável.

Gabarito comentado na página 70

Agora é com você

03

ENEM 2021

A sequência de nucleotídeos do RNA mensageiro presentes em um gene de um fungo, constituída de sete códons, está escrita a seguir:

1	2	3	4	5	6	7
AUG	UUU	GUU	CAA	UGU	AGU	UAG

Pesquisadores submeteram a sequência a mutações independentes. Sabe-se que os códons UAG e UAA são terminais, ou seja, indicam a interrupção da tradução.

Qual mutação produzirá a menor proteína?

- (A) Deleção de G no códon 3.
- (B) Substituição de C por U no códon 4.
- (C) Substituição de G por C no códon 6.
- (D) Substituição de A por G no códon 7.
- (E) Deleção dos dois primeiros nucleotídeos no códon 5.

04

ENEM 2020

Uma população encontra-se em equilíbrio genético quanto ao sistema ABO, em que 25% dos indivíduos pertencem ao grupo O e 16%, ao grupo A homozigotos. Considerando que: p = frequência de I^A ; q = frequência de I^B ; e r = frequência de i , espera-se encontrar:

GRUPO	GENÓTIPOS	FREQUÊNCIAS
A	$I^A I^A$ e $I^A i$	$p^2 + 2pr$
B	$I^B I^B$ e $I^B i$	$q^2 + 2qr$
AB	$I^A I^B$	$2pq$
O	ii	r^2

A porcentagem de doadores compatíveis para alguém do grupo B nessa população deve ser de

- (A) 11%.
- (B) 19%.
- (C) 26%.
- (D) 36%.
- (E) 60%.

Gabarito comentado na página 70

EVOLUÇÃO

Por que existem tantas formas de vida, e o que explica cada uma ser adequada ao lugar onde vive.

O organismos passam aos filhos uma característica que adquiriram durante a própria vida. A mudança que a evolução explica acontece entre gerações, na frequência dos alelos de uma população.

POR QUE CAI

Evolução aparece de dois jeitos. No primeiro, o enunciado descreve uma característica curiosa, como uma cobra inofensiva com a cor de uma peçonhenta, e pergunta como aquilo se estabeleceu. No segundo, entrega uma árvore de parentesco ou um cenário de isolamento e cobra leitura. Em ambos, a alternativa errada mais atraente é sempre a que dá intenção ao organismo.

O QUE ESTUDAR PRIMEIRO

- ☐ A diferença entre a explicação de Darwin e a de Lamarck
- ☐ Como surge espécie nova, com o isolamento no centro
- ☐ Como ler uma árvore de parentesco
- ☐ Estruturas parecidas por herança comum contra parecidas por pressão parecida
- ☐ Relações entre espécies que evoluem juntas, como patógeno e hospedeiro

NA PRÁTICA

A questão mais difícil deste material inteiro está neste assunto, e ela pede que você conclua que um vírus **menos** letal convive com a espécie humana há mais tempo. A intuição aponta para o lado contrário.

O mecanismo, e o erro que ele corrige

Existe variação dentro de qualquer população. Indivíduos da mesma espécie diferem em tamanho, cor, resistência e comportamento, e essa variação existe independentemente do ambiente.

O ambiente não distribui as chances por igual. Alguns indivíduos sobrevivem mais e deixam mais descendentes, e a geração seguinte nasce com proporção diferente. Isso é a **seleção natural**. Repare que ela não diz que o indivíduo mudou, ela diz que a **proporção** mudou na população.

PERGUNTA	LAMARCK, HOJE DESCARTADO	DARWIN, ACEITO
Por que a girafa tem pescoço longo?	Girafas esticaram o pescoço buscando folhas, e passaram isso aos filhotes	Havia girafas de pescoço mais longo e mais curto. As de pescoço longo alcançaram mais alimento e deixaram mais descendentes
Por que a bactéria ficou resistente?	A bactéria se fortaleceu com o antibiótico	Já existiam bactérias resistentes. O antibiótico matou as sensíveis, e as resistentes se multiplicaram

O mimetismo funciona pela mesma lógica. Uma cobra sem peçonha com padrão de cor parecido com o de uma peçonhenta sofre menos ataque, porque o predador não distingue as duas. Indivíduos com o padrão mais parecido escaparam mais, e a semelhança se tornou comum ao longo de gerações.

GUARDE ISTO

A variação vem primeiro, a seleção vem depois. Qualquer alternativa que diga que o organismo desenvolveu uma característica para resolver um problema está descrevendo Lamarck, e por isso está errada.

Como nasce uma espécie nova

O critério é a reprodução. Duas populações pertencem à mesma espécie quando cruzam entre si e geram descendentes férteis.

A separação geográfica costuma vir primeiro. Um rio muda de curso, uma serra se ergue, e a população fica dividida em dois grupos que não se encontram mais. Cada grupo acumula mutações próprias e sofre pressões próprias.

Se a barreira desaparecer e os grupos voltarem a se encontrar, dois desfechos são possíveis. Ainda cruzam e as diferenças se misturam, continuando espécie só. Ou não cruzam mais, ou geram descendente estéril, e existe **isolamento reprodutivo**. São duas espécies, mesmo convivendo no mesmo lugar.

Essa rota, com separação geográfica antes do isolamento reprodutivo, é a **especiação alopátrica**, a que a prova usa quase sempre.

Nas plantas, uma aquisição resolveu a dependência da água. Com o **tubo polínico**, o gameta masculino passou a ser levado até o óvulo por uma estrutura da própria planta, sem depender de água externa. É a aquisição que permitiu ocupar ambiente seco de forma definitiva.

GUARDE ISTO

Espécie se define por cruzamento com descendente fértil. O isolamento geográfico inicia o processo, e quem fecha a conta é o isolamento reprodutivo.

Ler parentesco, e ler semelhança

A árvore de parentesco mostra ancestralidade, não escada de progresso. Quanto mais recente o ponto de ramificação compartilhado, mais próximo o parentesco.

Estrutura homóloga

Mesma origem embrionária, podendo ter funções diferentes. Braço humano, asa de morcego e nadadeira de baleia têm os mesmos ossos. Indica ancestral comum.

Estrutura análoga

Função parecida, origens diferentes. Asa de inseto e de ave servem para voar sem compartilhar plano estrutural. Indica pressão parecida, a convergência adaptativa.

Espécies que interagem muito evoluem uma em função da outra. É a **coevolução**, e o caso mais usado é patógeno e hospedeiro. Um patógeno recém-chegado costuma ser muito agressivo. Ao longo de gerações, linhagens que matam o hospedeiro rápido demais se espalham menos, já que ele morre antes de transmitir. As linhagens menos agressivas ficam mais frequentes.

A consequência inverte a intuição. Letalidade baixa costuma indicar convivência antiga, e letalidade alta costuma indicar associação recente.

GUARDE ISTO

Semelhança por herança comum é homologia, semelhança por pressão parecida é analogia. Em patógeno e hospedeiro, quanto mais antiga a convivência, menor tende a ser a letalidade.

Como não cair na alternativa lamarckista

01 Procure o verbo de intenção

Caça verbo que dá vontade ao organismo, como desenvolveu para, aprendeu a, se adaptou para. Quase sempre estão erradas. A certa fala em sobrevivência diferencial, em frequência que mudou.

02 A variação já estava lá

Monte a cena com a população já variada antes da pressão agir. Essa imagem elimina alternativa sozinha.

03 Na árvore, olhe o nó, não a ponta

Para comparar parentesco, ache o ponto de ramificação compartilhado. O nó mais recente é o que vale.

04 Mesma função com plano diferente é analogia

Função parecida sugere convergência. Estrutura parecida, com mesma origem, sugere homologia e parentesco.

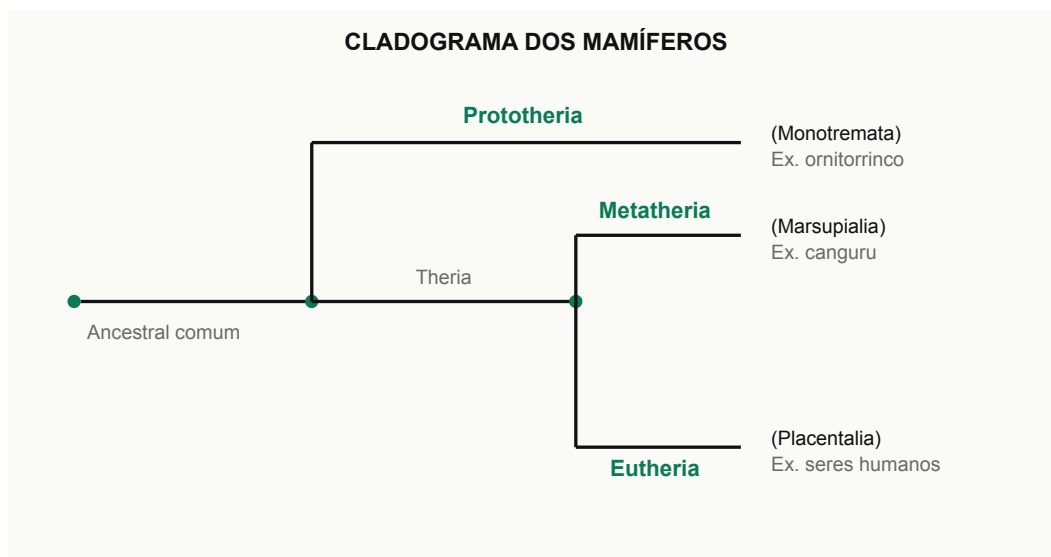
05 Patógeno antigo mata menos

Comparando duas doenças, escolha a de menor letalidade como a mais antiga. Matar rápido demais atrapalha a transmissão.

**A variação chega antes da pressão.
O ambiente filtra o que já existe.**

Resolve toda alternativa que dá intenção ao organismo

Apesar de os animais representados no cladograma compartilharem um mesmo ancestral, eles se caracterizam por distintos padrões de reprodução ou de nutrição dos embriões e descendentes.



DIXSON, A. F. *Mammalian Sexuality: The Act of Mating and the Evolution of Reproduction*. Disponível em: www.cambridge.org. Acesso em: 2 jul. 2024. Adaptado.

Ao longo do processo evolutivo, percebem-se, entre esses animais, perdas e ganhos nos padrões citados que envolvem o(a)

- (A) aumento no número de descendentes por ninhada.
- (B) mudança no tipo de fecundação de externa para interna.
- (C) redução da versatilidade de reprodução, que se torna unicamente sexuada.
- (D) desenvolvimento embrionário, que passa do meio aquático para o terrestre.
- (E) diminuição da vesícula vitelínica, associada ao desenvolvimento da lactação.

Como resolver

- 01** Monotremata põe ovos com vitelo; Marsupialia e Placentalia já desenvolvem o embrião dentro do corpo materno.
- 02** A tendência é do ovo com reserva de vitelo, fora do corpo, para o embrião nutrido pela mãe, dentro do corpo.
- 03** Essa transição caminha junto com o desenvolvimento da lactação, que substitui a reserva do ovo.

E

Resposta correta · diminuição da vesícula vitelínica, associada ao desenvolvimento da lactação

ENEM 2021

Entre 2014 e 2016, as regiões central e oeste da África sofreram uma grave epidemia de febre hemorrágica causada pelo vírus ebola, que se manifesta em até 21 dias após a infecção e cuja taxa de letalidade pode chegar a 90%. Em regiões de clima tropical e subtropical, um outro vírus também pode causar febre hemorrágica, o vírus da dengue, que, embora tenha período de incubação menor (até 10 dias), apresenta taxa de letalidade abaixo de 1%.

Disponível em: www.who.int. Acesso em: 1 fev. 2017. Adaptado.

Aplicando princípios de evolução biológica às relações do tipo patógeno-hospedeiro, qual dos dois vírus infecta seres humanos há mais tempo?

- (A) Ebola, pois o maior período de incubação reflete duração mais longa do processo de coevolução.
- (B) Dengue, pois o menor período de incubação reflete duração mais longa do processo de coevolução.
- (C) Ebola, cuja alta letalidade indica maior eficiência do vírus em parasitar seus hospedeiros.
- (D) Ebola, cujos surtos concentram-se no continente africano, berço evolutivo dos seres humanos.
- (E) Dengue, cuja baixa letalidade indica maior eficiência do vírus em parasitar seus hospedeiros, estabelecida ao longo da coevolução.

Como resolver

- 01** Linhagens de patógeno que matam o hospedeiro rápido demais transmitem menos, porque o hospedeiro morre antes de passar adiante, e por isso ficam menos frequentes.
- 02** Letalidade baixa é sinal de relação parasita-hospedeiro mais madura, ajustada ao longo de gerações.
- 03** A dengue, com letalidade abaixo de 1%, mostra adaptação mais antiga e eficiente do que o ebola.

E

Resposta correta · a dengue tem coevolução mais longa com o hospedeiro humano

As quatro confusões que custam ponto

Dar intenção ao organismo

O erro campeão do assunto. Nenhum indivíduo muda a própria constituição em resposta ao ambiente. O que muda é a proporção de indivíduos na população, ao longo de gerações.

Tratar a árvore como escada de progresso

Grupos mais à direita não são mais evoluídos. Todos os ramos vivos hoje têm o mesmo tempo de evolução desde o ancestral comum.

Confundir analogia com parentesco

Asa de inseto e de ave fazem a mesma coisa e não indicam proximidade nenhuma. Parentesco se lê por estrutura compartilhada, nunca por semelhança de uso.

Achar que patógeno mais letal é mais adaptado

Um patógeno que mata rápido demais reduz a própria transmissão. Letalidade alta aponta para associação recente, e baixa aponta para convivência longa.

Agora é com você

01**ENEM 2022**

Desde a proposição da teoria de seleção natural por Darwin, os seres vivos nunca mais foram olhados da mesma forma. No que diz respeito à reprodução de anfíbios anuros, os cientistas já descreveram diferentes padrões reprodutivos: Espécie 1, fêmeas produzem cerca de 5.000 gametas fecundados na água, sem cuidado parental; Espécie 2, cerca de 200 gametas, com embriões vigiados pelos machos; Espécie 3, cerca de 20 gametas, fecundados sobre folhas acima da água; Espécie 4, poucos gametas, que se desenvolvem no saco vocal do macho.

Os padrões descritos evidenciam que

- (A) as fêmeas influenciam o comportamento dos machos.
- (B) o cuidado parental é necessário para o desenvolvimento.
- (C) o grau de evolução determina o comportamento reprodutivo.
- (D) o sucesso reprodutivo pode ser garantido por estratégias diferentes.
- (E) o ambiente induz modificação na produção do número de gametas femininos.

02**ENEM 2024**

O Cerrado e a Amazônia abrigam grande número de serpentes conhecidas como cobras-corais. Na Amazônia predominam as corais-verdadeiras, peçonhentas; no Cerrado prevalecem as falsas-corais, não peçonhentas. Essas espécies apresentam padrão de coloração muito semelhante, o que traz vantagem para as duas.

FRANÇA, F. G. R. [...] *serpentes corais em ambientes campestres, savânicos e florestais da América do Sul*. Brasília: UnB, 2008. Adaptado.

Qual é a vantagem dessa similaridade para as falsas-corais?

- (A) Facilita a captura de presas.
- (B) Diminui a competição por recursos.
- (C) Possibilita a geração de indivíduos híbridos.
- (D) Reduz a possibilidade de sofrerem predação.
- (E) Otimiza o encontro de parceiros reprodutivos.

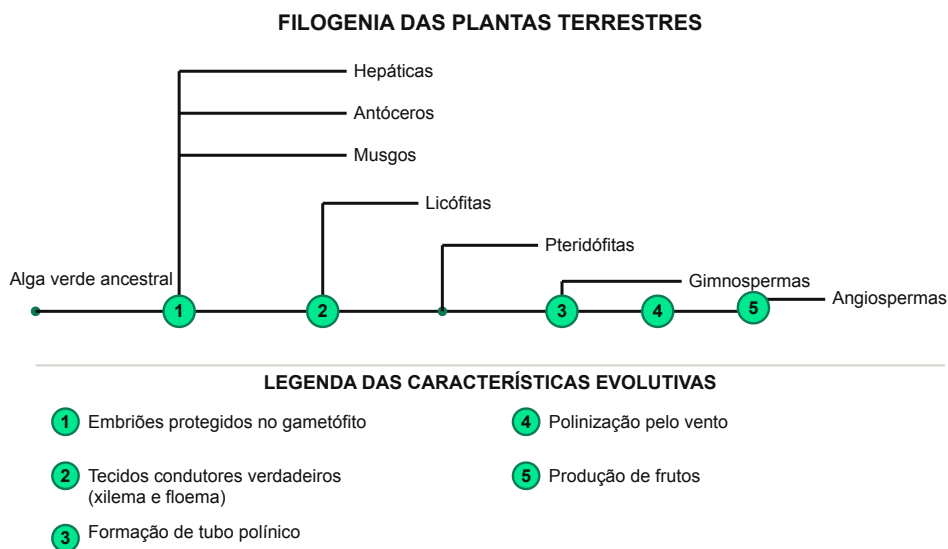
Gabarito comentado na página 71

Agora é com você

03

ENEM 2019

Durante sua evolução, as plantas apresentaram grande diversidade de características, as quais permitiram sua sobrevivência em diferentes ambientes. Na imagem, cinco dessas características estão indicadas por números: 1) Embriões protegidos no gametófito; 2) Tecidos condutores verdadeiros; 3) Formação de tubo polínico; 4) Polinização pelo vento; 5) Produção de frutos.



CAMPBELL, N. et al. *Biologia*. São Paulo: Artmed, 2010. Adaptado.

A aquisição evolutiva que permitiu a conquista definitiva do ambiente terrestre pelas plantas está indicada pelo número

- (A) 1.
- (B) 2.
- (C) 3.
- (D) 4.
- (E) 5.

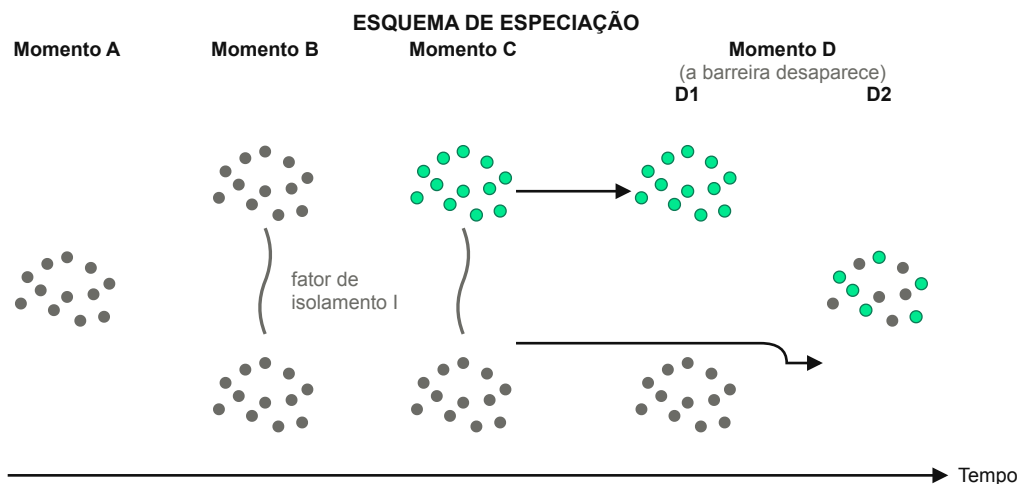
Gabarito comentado na página 71

Agora é com você

04

ENEM 2020

Uma população (momento A) sofre isolamento em duas subpopulações (momento B) por um fator de isolamento (I). Passado um tempo, essas subpopulações apresentam características fenotípicas e genotípicas que as distinguem (momento C). O posterior desaparecimento do fator de isolamento pode levar, no momento D, às situações D1 e D2.



A representação indica que, no momento D, na situação

- (A) D1 ocorre um novo fator de isolamento geográfico.
- (B) D1 existe uma única população distribuída em gradiente.
- (C) D1 ocorrem duas populações separadas por isolamento reprodutivo.
- (D) D2 coexistem duas populações com características fenotípicas distintas.
- (E) D2 foram preservadas as mesmas características fenotípicas da população original A.

Gabarito comentado na página 71

MICROBIOLOGIA E SAÚDE

Quem causa doença, como o corpo reage e o que cada tecnologia de saúde faz.

3

grupos muito diferentes causam as doenças que a prova cobra. Bactéria é célula sem núcleo, fungo e protozoário são células com núcleo, e vírus não é célula.

POR QUE CAI

É o assunto mais aplicado dos seis, e o mais colado no noticiário. Vacina, teste diagnóstico, antibiótico e controle de vetor aparecem com texto longo explicando a técnica, e a pergunta cobra o que aquilo faz no corpo ou no microrganismo. Você quase nunca precisa do nome de uma espécie.

O QUE ESTUDAR PRIMEIRO

- ☐ A estrutura comparada de bactéria, fungo e vírus, que decide o alvo do tratamento
- ☐ Como o corpo produz defesa, e o que a vacina faz nesse processo
- ☐ A diferença entre imunidade ativa e passiva
- ☐ O ciclo de um vírus, com atenção aos que têm material genético de RNA
- ☐ Como funciona um teste que detecta material genético

NA PRÁTICA

Duas questões deste assunto se resolvem com o mesmo raciocínio, o de achar uma estrutura que existe no causador e não existe nas nossas células ou nas bactérias que já vivem no corpo.

Quem é quem no mundo microscópico

GRUPO	TEM CÉLULA?	TEM NÚCLEO?	EXEMPLO EM PROVA
Bactéria	sim, procarionte	não	tuberculose, leptospirose
Fungo	sim, eucarionte	sim	candidíase, micoses
Protozoário	sim, eucarionte	sim	Chagas, leishmaniose
Vírus	não	não se aplica	dengue, covid-19, HIV

A diferença que decide o tratamento. Fungo e protozoário são eucariontes, com as mesmas estruturas básicas das nossas células, incluindo núcleo e microtúbulos. Bactéria é procarionte e não tem nada disso. Por isso um medicamento que ataca microtúbulo atinge fungo e poupa bactéria.

O vírus é um caso à parte. Ele tem material genético envolvido por cápsula de proteína, e não realiza metabolismo sozinho. Precisa entrar numa célula e usar a maquinaria dela. Antibiótico não age em vírus, porque não existe estrutura bacteriana ali para atacar.

Bactéria e oxigênio. Em tubo de cultura, a posição das colônias entrega o metabolismo:

Aeróbio estrito

Só cresce onde há oxigênio, concentra-se no topo do tubo.

Anaeróbio estrito

Morre na presença de oxigênio, concentra-se no fundo.

Anaeróbio facultativo

Cresce dos dois jeitos, se espalha pelo tubo inteiro.

GUARDE ISTO

O alvo de um remédio seletivo é uma estrutura que o causador tem e **quem você quer poupar** não tem. Quem poupar muda de enunciado para enunciado, e pode ser você ou a microbiota que já vive em você. Bactéria não tem núcleo nem microtúbulo, fungo tem os dois, vírus não tem célula nenhuma.

Como o corpo se defende, e o que a vacina faz

Antígeno é o que o corpo reconhece como estranho, costuma ser proteína de superfície. **Anticorpo** é a proteína de defesa que se liga especificamente a um antígeno.

A resposta deixa memória. No primeiro contato, a produção de anticorpo é lenta e a pessoa costuma adoecer, mas o corpo guarda células de memória. Num contato posterior, a resposta sai rápida e forte.

A vacina usa esse mecanismo. Apresenta o antígeno sem causar doença, e o corpo produz anticorpo e memória. É a **imunidade ativa**. As vacinas de RNA mensageiro entregam a instrução para que as células produzam a proteína do vírus, que funciona como antígeno.

O soro é outra coisa. Entrega anticorpo pronto, produzido fora do paciente. Age rápido, não deixa memória. É a **imunidade passiva**.

	VACINA	SORO
O que entrega	antígeno	anticorpo pronto
Quem produz	o próprio corpo	outro organismo
Deixa memória	sim	não
Uso típico	prevenção	urgência

Os linfócitos T destroem células já infectadas. O HIV destrói linfócitos T, o que caracteriza a aids. O HTLV-1 estimula a multiplicação descontrolada dessas células, o que pode levar a câncer.

GUARDE ISTO

Vacina entrega antígeno e gera memória, soro entrega anticorpo pronto e não gera. Prevenção pede vacina, urgência pede soro.

Vírus por dentro, e como o teste encontra ele

O vírus se liga a um receptor específico da membrana, o que explica por que cada vírus infecta certos tecidos. Depois entra, usa a maquinaria da célula para copiar o próprio material genético, e sai.

Retrovírus fazem o caminho inverso do usual. Um retrovírus tem RNA e carrega a **transcriptase reversa**, que produz DNA a partir desse RNA. HIV e HTLV-1 são retrovírus.

A PCR multiplica um trecho de DNA milhões de vezes, com uma enzima polimerase. Se o vírus tem RNA, como o SARS-CoV-2, é preciso converter em DNA complementar antes, por transcrição reversa. É por isso que o exame se chama RT-PCR.

Controle de vetor combate doenças transmitidas por mosquito atacando o vetor. Uma estratégia aplicada no Brasil desde 2015, e em expansão por município, introduz no *Aedes aegypti* uma bactéria do gênero *Wolbachia*, que reduz a capacidade do vírus de se multiplicar dentro do mosquito.

GUARDE ISTO

PCR trabalha com DNA. Vírus de RNA exige conversão prévia por transcrição reversa, e é daí que vem o nome RT-PCR.

Como escolher o alvo certo

01 Ache o que o invasor tem e quem você poupa não tem

Primeiro leia no enunciado quem precisa sair ileso. Se for a microbiota bacteriana, microtúbulo serve de alvo, porque bactéria não tem. Se for o paciente, microtúbulo não serve, porque nós temos. Contra vírus não há estrutura celular nenhuma para atacar.

02 Fungo é parecido com você, bactéria não

Fungo compartilha estrutura com nossas células. É por isso que existe antibiótico com efeito colateral baixo, e antifúngico é mais difícil.

03 Vacina ensina, soro empresta

Vacina apresenta antígeno e o corpo aprende, o que demora e dura. Soro entrega anticorpo pronto, rápido e sem duração.

04 RNA no vírus significa etapa a mais no teste

Vírus de RNA e PCR juntos sempre envolvem transcrição reversa e cDNA.

05 O receptor explica o tecido

Por que certo vírus ataca certo órgão está no encaixe entre a proteína viral e o receptor da célula.

Vacina ensina o corpo a pescar.
Soro entrega o peixe pronto.

Resolve qualquer questão que troque prevenção por urgência

ENEM 2022

Antimicrobianos são substâncias naturais ou sintéticas que têm capacidade de matar ou inibir o crescimento de microrganismos. A tabela apresenta uma lista de antimicrobianos hipotéticos, bem como suas ações e efeitos sobre o metabolismo microbiano.

ANTIMICROBIANO	AÇÃO	EFEITO
1	Une-se aos ribossomos	Impede a síntese proteica
2	Une-se aos microtúbulos	Impede a segregação das cromátides
3	Une-se aos fosfolípidos da membrana	Reduz a permeabilidade da membrana
4	Interfere na síntese de timina	Inibe a síntese de DNA
5	Interfere na síntese de uracila	Impede a síntese de RNA

Qual dos antimicrobianos deve ser utilizado para curar uma infecção causada por um fungo sem afetar as bactérias da microbiota normal do organismo?

- (A) 1
- (B) 2
- (C) 3
- (D) 4
- (E) 5

Como resolver

- 01** O alvo precisa existir no fungo (eucarioto) e não existir na bactéria (procarionte).
- 02** Microtúbulos fazem parte do citoesqueleto eucarionte. Bactérias não têm essa estrutura.
- 03** Os outros alvos existem tanto em fungo quanto em bactéria.

B

Resposta correta · antimicrobiano 2, que se une aos microtúbulos

ENEM 2022

Entre as diversas técnicas para diagnóstico da covid-19, destaca-se o teste genético. Considerando as diferentes variantes e cargas virais, um exemplo é a PCR, reação efetuada por uma enzima do tipo polimerase. Essa técnica permite identificar, com confiabilidade, o material genético do SARS-CoV-2, um vírus de RNA. Para comprovação da infecção, são coletadas amostras de secreções do indivíduo. Uma etapa que antecede a reação de PCR precisa ser realizada para permitir a amplificação do material genético do vírus.

Essa etapa deve ser realizada para

- (A) concentrar o RNA viral para otimizar a técnica.
- (B) identificar nas amostras anticorpos anti-SARS-CoV-2.
- (C) proliferar o vírus em culturas, aumentando a carga viral.
- (D) purificar ácidos nucleicos virais, facilitando a ação da enzima.
- (E) obter moléculas de cDNA viral por meio da transcrição reversa.

Como resolver

- 01** O vírus é de RNA, e a PCR clássica amplifica DNA.
- 02** Antes de a polimerase agir, é preciso converter o RNA viral em DNA complementar, por transcrição reversa.
- 03** Essa é a etapa que precede a PCR propriamente dita (RT-PCR).

E

Resposta correta · obter moléculas de cDNA viral por meio da transcrição reversa

As quatro confusões que custam ponto

Tratar antibiótico como remédio para qualquer infecção

Antibiótico age em estrutura de bactéria. Contra vírus não existe alvo, e contra fungo o efeito é limitado, porque fungo é eucarionte como nós.

Trocar vacina por soro

Vacina entrega antígeno e o corpo produz a defesa, o que demora e deixa memória. Soro entrega anticorpo pronto, age em horas e não deixa memória.

Aplicar PCR direto em vírus de RNA

A polimerase da PCR trabalha sobre DNA. Se o vírus é de RNA, existe etapa anterior obrigatória, a transcrição reversa.

Achar que todo vírus que ataca linfócito causa aids

HIV destrói o linfócito T e derruba a imunidade. HTLV-1 estimula a multiplicação dessa célula, com risco de câncer.

Agora é com você

01**ENEM 2019**

A esquistossomose (barriga-d'água) caracteriza-se pela inflamação do fígado e do baço causada pelo verme *Schistosoma mansoni*. O contágio ocorre depois que larvas do verme são liberadas na água pelo caramujo do gênero *Biomphalaria*, e penetram na pele humana. O tratamento tradicional utiliza medicamentos por via oral para matar o parasita dentro do corpo. Uma nova estratégia baseia-se em vacina, feita a partir de proteína extraída do verme, que induz o organismo a produzir anticorpos para combater e prevenir a doença.

Instituto Oswaldo Cruz/Fiocruz. Fiocruz anuncia nova fase de vacina para esquistossomose. Disponível em: <http://agencia.fiocruz.br>. Acesso em: 3 maio 2019. Adaptado.

Uma vantagem da vacina em relação ao tratamento tradicional é que ela poderá

- (A) impedir a penetração do parasita pela pele.
- (B) eliminar o caramujo para que não haja contágio.
- (C) impedir o acesso do esquistossomo especificamente para o fígado.
- (D) eliminar o esquistossomo antes que ocorra contato com o organismo.
- (E) eliminar o esquistossomo dentro do organismo antes da manifestação de sintomas.

02**ENEM 2024**

Indústrias farmacêuticas e instituições científicas têm trabalhado no desenvolvimento de diferentes vacinas contra a covid-19. Em algumas, a principal estrutura antigênica é uma proteína de superfície viral chamada espícula (*spike*). Essa proteína só existe em coronavírus. Ela se liga a receptores de membrana específicos das células humanas por um mecanismo tipo chave-fechadura, e assim os vírus entram nas células.

O que são vacinas? Disponível em: www.cienciaviva.pt. Acesso em: 30 nov. 2021. Adaptado.

Nessas vacinas, essa proteína viral induz a

- (A) produção de anticorpos específicos contra os vírus.
- (B) imunidade passiva contra o desenvolvimento da doença.
- (C) alteração genômica para formação da memória imunológica.
- (D) neutralização direta dos vírus presentes na circulação sanguínea.
- (E) modificação dos receptores de membrana específicos para o vírus.

Gabarito comentado na página 71

Agora é com você

03

ENEM 2024

O vírus linfotrópico de células T humanas tipo 1 (HTLV-1) é um retrovírus do mesmo grupo do vírus da imunodeficiência humana (HIV). Ambos são transmitidos da mesma forma e infectam as mesmas células de defesa, os linfócitos T. A diferença é que o HTLV-1 estimula o aumento da produção desses linfócitos, enquanto o HIV causa destruição dessas células.

ROMANELLI, L. C. F.; CARAMELLI, P.; PROIETTI, A. B. F. C. *Revista da Associação Médica Brasileira*, v. 56, 2010. Adaptado.

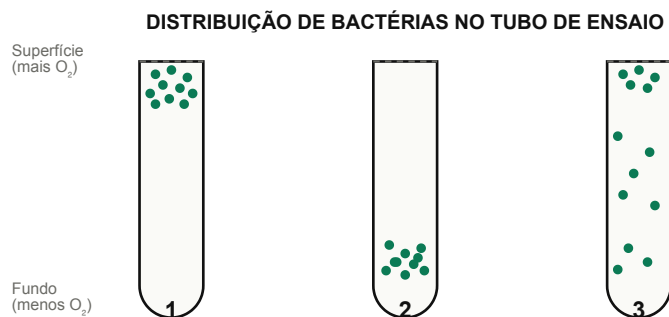
Uma possível consequência da infecção por HTLV-1 é o desenvolvimento de

- (A) aids.
- (B) câncer.
- (C) diabetes.
- (D) hepatite B.
- (E) hemorragia.

04

ENEM 2024

Utilizando-se um mesmo meio nutritivo, três gêneros bacterianos diferentes foram submetidos ao cultivo em tubos de ensaio. Após certo período de crescimento em condições físico-químicas ideais, observou-se que o padrão de distribuição das células ao longo dos tubos era diferente em cada um dos casos.



Em relação ao metabolismo energético, os microrganismos presentes nos tubos 1, 2 e 3 são classificados, respectivamente, como

- (A) anaeróbio facultativo, anaeróbio estrito e aeróbio estrito.
- (B) anaeróbio facultativo, aeróbio estrito e anaeróbio estrito.
- (C) aeróbio estrito, anaeróbio estrito e anaeróbio facultativo.
- (D) anaeróbio estrito, aeróbio estrito e anaeróbio facultativo.
- (E) aeróbio estrito, anaeróbio facultativo e anaeróbio estrito.

Gabarito comentado na página 71

FISIOLOGIA HUMANA

Como cada sistema do corpo faz o seu trabalho, e o que acontece quando um deles é alterado.

1

substância no lugar errado basta para a prova montar a questão inteira. Um hormônio a mais, um neurotransmissor a menos ou uma enzima bloqueada, e o enunciado pede a consequência.

POR QUE CAI

A prova usa fisiologia para falar de coisas que o aluno reconhece, como doping em esporte, tensão pré-menstrual, exame clínico, fertilização in vitro e transplante. O texto explica o contexto e a pergunta cobra o mecanismo.

O QUE ESTUDAR PRIMEIRO

- ☐ O sangue e o transporte de oxigênio, o mecanismo mais cobrado
- ☐ O que o rim retira do sangue, com atenção à ureia
- ☐ O arco reflexo, e a diferença entre resposta medular e encefálica
- ☐ Cones e bastonetes, e o que cada um enxerga
- ☐ O ciclo menstrual, com o corpo lúteo no centro

NA PRÁTICA

Metade das questões deste assunto se resolve sabendo qual estrutura produz ou transporta determinada substância. Não é preciso decorar via metabólica nenhuma.

Transportar e filtrar

O sangue leva oxigênio dentro das hemácias. Quem carrega de fato é a **hemoglobina**, proteína com ferro que se liga ao oxigênio no pulmão e o solta nos tecidos.

A produção de hemácia é controlada pela **eritropoetina**, produzida principalmente pelos rins, que estimula a medula óssea. É esse mecanismo que o doping sanguíneo explora, porque aplicar eritropoetina além do que o corpo produz aumenta a quantidade de hemácias e a capacidade de sustentar esforço físico. O ganho é de transporte de oxigênio, não de força muscular.

O rim retira do sangue a **ureia**, produzida no fígado a partir da amônia que vem da quebra de proteína. A amônia é tóxica, a ureia é bem menos.

O filtro renal funciona em duas etapas, filtrando em massa (água, sais, glicose, ureia) e depois reabsorvendo o que ainda serve. Um rim artificial precisa reproduzir esse par de funções, e a que define o sucesso do aparelho é a remoção da ureia.

GUARDE ISTO

Oxigênio anda ligado à hemoglobina dentro da hemácia. O rim tira ureia, a forma menos tóxica em que o corpo embala o nitrogênio que sobra da proteína.

O sistema que responde rápido

O neurônio conduz sinal elétrico e conversa por neurotransmissor na sinapse. Nem toda resposta passa pelo cérebro, porque em situações que exigem velocidade o caminho fecha na **medula espinhal**. É o **arco reflexo**.

O reflexo patelar, quando o médico bate abaixo do joelho e a perna levanta, é resposta medular, e o encéfalo só toma conhecimento depois que o movimento já aconteceu.

Cerebelo coordena equilíbrio e movimento fino, ponte liga partes do encéfalo, hipotálamo controla temperatura e hormônios. Nenhum participa do reflexo patelar.

Cones

Distinguem cor, exigem boa iluminação.

Bastonetes

Não distinguem cor, funcionam com pouca luz.

Animais noturnos costumam ter mais bastonetes, o que melhora a visão no escuro e piora a percepção de cor.

GUARDE ISTO

Reflexo patelar fecha na medula, sem passar pelo encéfalo. Cone precisa de luz e enxerga cor, bastonete se vira no escuro e não enxerga cor.

Hormônio e reprodução

O ciclo menstrual é regulado por quatro hormônios. Na primeira metade, FSH estimula o folículo, que produz **estrógeno**. O pico de LH provoca a **ovulação**.

Na segunda metade, o que sobra do folículo forma o **corpo lúteo**, que produz **progesterona** e mantém o estrógeno, preparando o útero.

Sem fecundação, o corpo lúteo regride. A queda de progesterona e estrógeno desencadeia a menstruação e se associa à tensão pré-menstrual, por afetar a serotonina.

A fecundação exige que o espermatozoide vença a corona radiata e a zona pelúcida. Na cabeça do espermatozoide, o **acrossomo** carrega enzimas que digerem esse caminho.

GUARDE ISTO

O corpo lúteo sustenta a progesterona na segunda metade do ciclo, e a regressão dele derruba os hormônios e inicia a menstruação. Na fecundação, quem abre caminho é a enzima do acrossomo.

Como identificar o órgão que a questão cobra

01 Pergunte quem produz e quem recebe

Monte a frase completa. Tal glândula produz tal substância, que age em tal órgão, com tal efeito.

02 Reflexo rápido é medula

Resposta imediata em exame clínico com martelinho aponta para medula espinhal.

03 Escuro é bastonete, cor é cone

Cone lembra cone de sorvete colorido. Bastonete é o que sobra quando falta luz.

04 Doping de resistência mexe em oxigênio

Desempenho em prova longa aponta para transporte de oxigênio, não massa muscular.

05 Queda hormonal no fim do ciclo é o corpo lúteo indo embora

Queda de estrógeno e progesterona nos dias antes da menstruação aponta para a regressão do corpo lúteo.

O corpo lúteo segura o útero.
Quando ele some, a menstruação vem.

Resolve a questão de tensão pré-menstrual

ENEM 2022

Diversas substâncias são empregadas com a intenção de incrementar o desempenho esportivo de atletas de alto nível. O chamado doping sanguíneo, por exemplo, pela utilização da eritropoietina, é proibido pelas principais federações de esportes no mundo. A eritropoietina é um hormônio produzido pelos rins e fígado e sua principal ação é regular o processo de eritropoiese. Seu uso administrado intravenosamente em quantidades superiores às aquelas presentes naturalmente no organismo permite que o indivíduo aumente a sua capacidade de realização de exercícios físicos.

Esse tipo de doping está diretamente relacionado ao aumento da

- (A) frequência cardíaca.
- (B) capacidade pulmonar.
- (C) massa muscular do indivíduo.
- (D) atividade anaeróbica da musculatura.
- (E) taxa de transporte de oxigênio pelo sangue.

Como resolver

- 01** Eritropoetina regula a eritropoiese, ou seja, a produção de hemácias.
- 02** Mais hemácias significam mais hemoglobina circulante, que transporta oxigênio.
- 03** Mais oxigênio disponível sustenta esforço físico mais intenso e por mais tempo.

E

Resposta correta · taxa de transporte de oxigênio pelo sangue

ENEM 2023

Muitas mulheres sofrem com desconfortos nos dias que antecedem a menstruação, a chamada tensão pré-menstrual. Entre outros sintomas, podem ocorrer alterações de humor. Atualmente, acredita-se que os sintomas são resultado da queda na concentração do neurotransmissor serotonina, que, por sua vez, está relacionado com a diminuição na produção dos hormônios ovarianos estrógeno e progesterona, observada nessa fase do ciclo feminino.

DIMMOCK, P. W. et al. Efficacy of Selective Serotonin-Reuptake Inhibitors in Premenstrual Syndrome: a Systematic Review. The Lancet, n. 9236, 2000. Adaptado.

A redução da produção desses hormônios nessa fase está relacionada com o(a)

- ☐ A regressão do corpo lúteo ovariano.
- ☐ B diminuição na produção de ocitocina.
- ☐ C liberação do gameta feminino na ovulação.
- ☐ D aumento nos níveis dos hormônios LH e FSH.
- ☐ E elevação nos níveis sorológicos de adrenalina.

Como resolver

- 01** O corpo lúteo, formado após a ovulação, produz progesterona e mantém o estrógeno.
- 02** Sem fecundação, o corpo lúteo regride próximo ao fim do ciclo.
- 03** Com a regressão, a produção de estrógeno e progesterona cai, o que reduz a serotonina e provoca os sintomas.

A

Resposta correta · regressão do corpo lúteo ovariano

As quatro confusões que custam ponto

Dar ao rim o trabalho do fígado

Quem converte amônia em ureia é o **fígado**. O rim só retira da circulação a ureia já pronta. A alternativa que oferece “transformação de amônia” como função renal existe para pegar quem junta as duas etapas num órgão só, e ela aparece em prova.

Confundir abrir caminho com fundir

As enzimas do acrossomo **digerem as camadas** que envolvem o óvulo, e param aí. A fusão das membranas e a formação do pronúcleo são etapas posteriores, que dependem de o caminho já estar aberto. Bloquear o acrossomo trava a primeira, não as seguintes.

Achar que hormônio age em todo lugar por onde passa

O hormônio circula pelo corpo inteiro, mas só produz efeito onde existe **receptor compatível**. É por isso que uma única substância mexe em um órgão e ignora o vizinho, e é por isso que a pergunta certa nunca é “por onde passa”, e sim “quem tem receptor”.

Explicar a queda hormonal pela ovulação

A ovulação fica no meio do ciclo e é marcada por **pico** de LH, não por queda. A queda de estrógeno e progesterona vem no fim, pela regressão do corpo lúteo. Quem associa qualquer alteração hormonal do ciclo à ovulação erra o momento.

Agora é com você**01****ENEM 2022**

No processo de captação da luz pelo olho para a formação de imagens estão envolvidas duas estruturas celulares: os cones e os bastonetes. Os cones são sensíveis à energia dos fótons, e os bastonetes, à quantidade de fótons incidentes.

Um animal que tem bastonetes mais sensíveis irá

- (A) apresentar daltonismo.
- (B) perceber cores fora do espectro do visível.
- (C) enxergar bem em ambientes mal iluminados.
- (D) necessitar de mais luminosidade para enxergar.
- (E) fazer uma pequena distinção de cores em ambientes iluminados.

02**ENEM 2019**

O "The Kidney Project" é um projeto realizado por cientistas que pretendem desenvolver um rim biônico que executará a maioria das funções biológicas do órgão. Esse projeto significará melhoria na qualidade de vida para quem depende da hemodiálise.

Disponível em: <https://pharm.ucsf.edu>. Acesso em: 26 abr. 2019. Adaptado.

O dispositivo criado promoverá diretamente a

- (A) remoção de ureia.
- (B) excreção de lipídios.
- (C) síntese de vasopressina.
- (D) transformação de amônia.
- (E) fabricação de aldosterona.

Gabarito comentado na página 72

Agora é com você**03****ENEM 2023**

Na fertilização in vitro, espermatozoides são adicionados aos gametas femininos retirados de uma mulher. Após o período de incubação, a fecundação é favorecida pela ação de enzimas. Em um procedimento realizado, observou-se que nenhum dos gametas femininos foi fertilizado e, posteriormente, verificou-se que havia sido adicionado, equivocadamente, um coquetel de inibidores das enzimas do acrossomo, no lugar de um dos nutrientes constituintes do meio de cultura.

O coquetel de inibidores impediu o(a)

- (A) formação do pronúcleo masculino.
- (B) início da divisão mitótica do zigoto.
- (C) término da segunda divisão meiótica do ovócito.
- (D) passagem do espermatozoide pela corona radiata e zona pelúcida.
- (E) fusão das membranas plasmáticas do ovócito e do espermatozoide.

04**ENEM 2021**

Um dos exames clínicos mais tradicionais para medir a capacidade reflexa dos indivíduos é o exame do reflexo patelar. Esse exame consiste na estimulação da patela, um pequeno osso localizado na parte anterior da articulação do joelho, com um pequeno martelo. A resposta reflexa ao estímulo é caracterizada pelo levantamento da perna em que o estímulo foi aplicado.

Qual região específica do sistema nervoso coordena essa resposta?

- (A) Ponte.
- (B) Medula.
- (C) Cerebelo.
- (D) Hipotálamo.
- (E) Neuro-hipófise.

Gabarito comentado na página 72

ECOLOGIA

Como matéria e energia circulam entre os seres vivos, e o que acontece quando alguém mexe nesse circuito.

5

assuntos deste material desembocam aqui. Diversidade de população é genética, adaptação é evolução, vetor de doença é microbiologia, resposta ao ambiente é fisiologia, e a planta que faz tudo isso funcionar é citologia em escala grande.

POR QUE CAI

Ecologia raramente é o conteúdo cobrado. Ela é o texto que embrulha outro conteúdo, do mesmo jeito que química ambiental funciona na apostila de Química. A prova apresenta um problema real, como espécie invasora ou contaminação por metal, e cobra um mecanismo que pode ser de qualquer um dos cinco assuntos anteriores.

O QUE ESTUDAR PRIMEIRO

- ☐ Como a energia caminha na cadeia alimentar, e por que diminui a cada nível
- ☐ Os ciclos do carbono e do nitrogênio, com atenção a quem oxida e quem reduz
- ☐ Relações entre espécies, e o que acontece quando uma espécie nova chega
- ☐ Fragmentação de hábitat e as formas de reduzir o estrago
- ☐ A planta por dentro, com os tecidos condutores e a reprodução das angiospermas

NA PRÁTICA

A fisiologia vegetal mora dentro deste assunto, não em capítulo próprio. Duas das seis questões daqui são de planta, e nas duas o que se cobra é o papel de um tecido ou de uma etapa da reprodução.

Por onde passam a energia e a matéria

A energia entra pelo produtor e se perde pelo caminho. Plantas capturam energia luminosa, e a cada passagem na cadeia uma parte grande é dissipada como calor. Por isso a cadeia tem poucos níveis, e a matéria diminui do produtor para o topo.

A matéria, ao contrário, circula. No ciclo do carbono, plantas retiram CO_2 do ar e o incorporam à matéria orgânica. Decompositores fazem o caminho de volta, oxidando o carbono e devolvendo CO_2 .

No ciclo do nitrogênio, vale prestar atenção ao sentido de cada transformação:

Fixação

Bactérias convertem N_2 em amônia. É uma redução.

Nitrificação

Bactérias convertem amônia em nitrito e depois nitrato. É uma oxidação.

Assimilação

A planta absorve nitrato e monta as próprias proteínas.

Desnitrificação

Bactérias devolvem nitrogênio ao ar como N_2 . É uma redução.

GUARDE ISTO

Energia atravessa o sistema uma vez e se perde como calor, matéria circula. No ciclo do nitrogênio, nitrificar é oxidar, e fixar ou desnitrificar é reduzir.

Quem convive com quem, e o que quebra o equilíbrio

As relações entre espécies mais usadas pela prova:

- **Predação**, em que um se alimenta do outro
- **Competição**, em que dois disputam o mesmo recurso e ambos perdem
- **Mutualismo**, em que os dois ganham, como planta e polinizador
- **Parasitismo**, em que um ganha e o outro perde sem morrer de imediato
- **Comensalismo**, em que um ganha e o outro não é afetado

Espécie que chega de fora pode desmontar o arranjo. Uma **espécie exótica invasora** não tem os predadores e parasitas que a controlavam na origem. Quando cresce e ocupa espaço, as nativas perdem recurso e a diversidade cai.

A fragmentação divide o hábitat em ilhas. Cada pedaço abriga população menor e isolada, que sofre mais com acaso e perda de variabilidade genética. A medida que reduz o problema é o **corredor ecológico**, faixa de vegetação que reconecta fragmentos.

Poluente que não se degrada sobe na cadeia. Substâncias lipossolúveis e persistentes ficam guardadas no tecido gorduroso de cada organismo, porque entram mais rápido do que saem, e esse acúmulo dentro do indivíduo é a **bioacumulação**. Como cada predador come muitas presas ao longo da vida, a concentração fica maior a cada nível trófico, e essa subida ao longo da cadeia é a **magnificação trófica**.

GUARDE ISTO

Espécie invasora cresce por falta de controle natural e derruba a diversidade nativa. Fragmentar isola populações, e o corredor ecológico existe para reconectar.

A planta por dentro

Xilema

Leva água e sais minerais da raiz para as folhas, de baixo para cima.

Floema

Leva a seiva com açúcar das folhas para o resto da planta, inclusive a raiz.

A posição dos dois no tronco explica um caso clássico. O floema fica na parte externa, próximo à casca. Ao retirar um anel completo de casca, o floema é interrompido em toda a circunferência. A parte de cima continua recebendo água e fazendo fotossíntese, mas o açúcar não chega mais à raiz, que esgota a reserva e a planta morre.

As angiospermas fazem uma fecundação dupla. O tubo polínico leva dois núcleos espermáticos até o óvulo. Um se funde à oosfera e forma o **zigoto**. O outro se funde a dois núcleos polares e forma o **endosperma**, tecido de reserva que sustenta a germinação.

A fitorremediação usa plantas para limpar solo contaminado. O que efetivamente remove um metal pesado é a **fitoextração**, em que a planta absorve o metal, acumula na parte aérea, e essa biomassa é colhida.

GUARDE ISTO

Xilema sobe com água, floema distribui açúcar. Anelar o tronco corta o floema e mata a planta pela raiz. Na fecundação dupla, um núcleo faz o embrião e o outro faz o endosperma.

Como reconhecer o conteúdo escondido no texto ambiental

01 Pergunte qual assunto está disfarçado

Contaminação por metal costuma ser fisiologia ou citologia, controle de mosquito é microbiologia, espécie que muda ao longo do tempo é evolução.

02 Xilema sobe, floema distribui

Xilema tem o X de subir na vertical, floema tem o F de fluir para todo lado.

03 Fixar e desnitrificar são redução, nitrificar é oxidação

No ciclo do nitrogênio, siga o oxigênio. Amônia virando nitrito e nitrato ganha oxigênio, logo oxida.

04 Invasora cresce porque ninguém a come

A resposta sobre espécie exótica passa por ausência de predador ou parasita natural naquele ambiente.

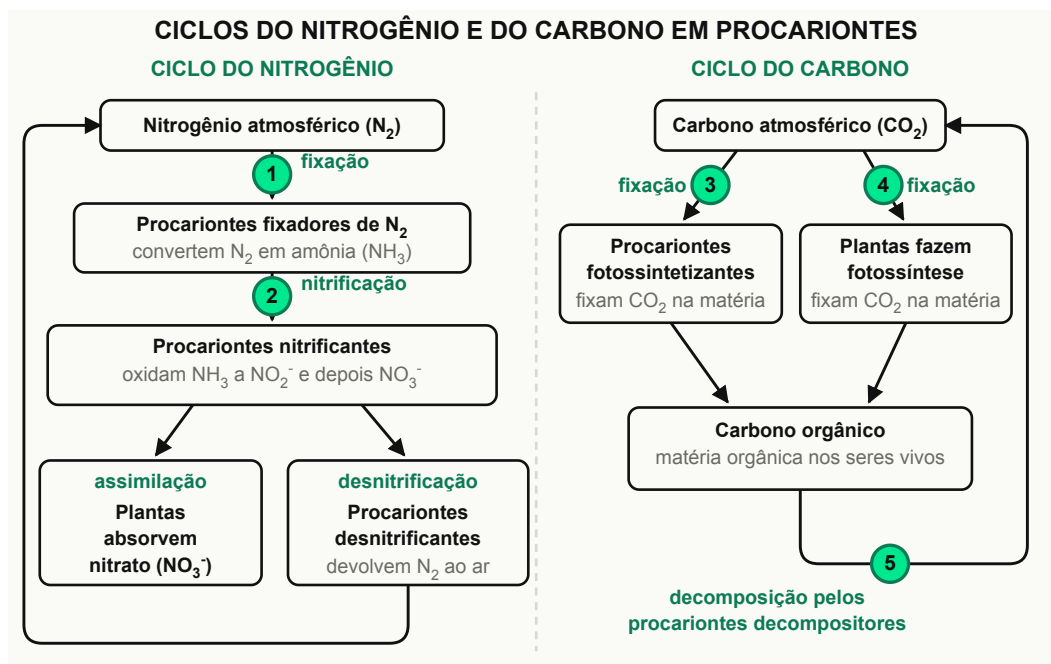
05 Só tira do ambiente o que sai junto com a planta

Em fitorremediação, pergunte se o poluente realmente deixa o local. Só a fitoextração remove de verdade.

**Energia passa uma vez, matéria dá voltas.
É por isso que a cadeia é curta e o ciclo não acaba.**

Resolve qualquer questão que confunda os dois

Metabolismo de procariontes. O esquema representa a ação de organismos no ciclo do nitrogênio e no ciclo do carbono. Os números correspondem a algumas etapas dos dois ciclos distintos.



Disponível em: <https://pt.khanacademy.org>. Acesso em: 27 jun. 2024. Adaptado.

Em qual etapa numerada ocorre uma transformação redox como a que ocorre nos procariontes nitrificantes?

- (A) 1
- (B) 2
- (C) 3
- (D) 4
- (E) 5

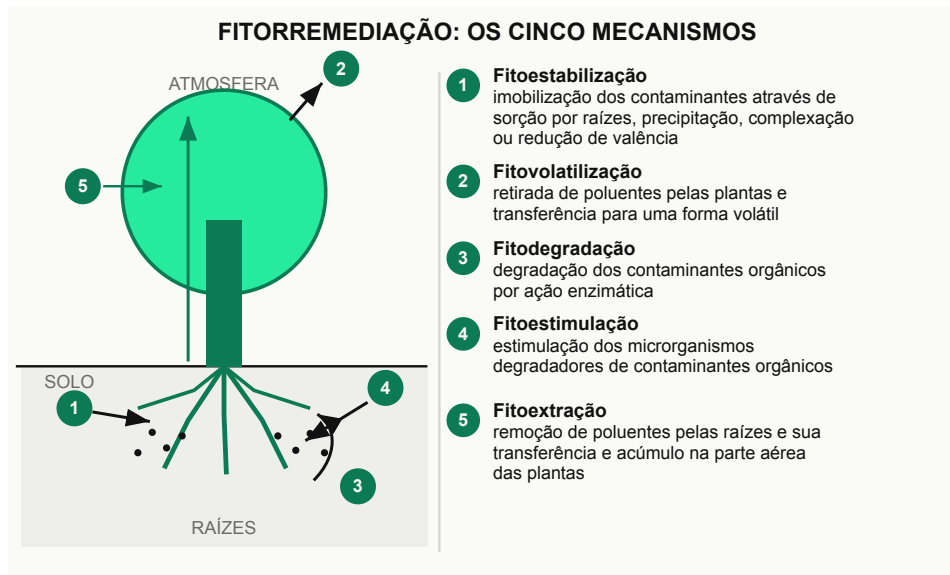
Como resolver

- 01** A nitrificação (etapa 2) é uma oxidação: NH_3 perde elétrons ao virar NO_2^- e depois NO_3^- .
- 02** A pergunta pede outra etapa que também seja uma transformação redox equivalente.
- 03** A etapa 5, decompositores oxidando o carbono orgânico de volta a CO_2 , é uma oxidação no mesmo sentido.

E

Resposta correta · etapa 5

A fitorremediação é uma técnica que utiliza plantas para a remediação de ambientes contaminados. A descontaminação de solos pode ocorrer por descarte, absorção e metabolização, imobilização, extração ou volatilização do poluente, conforme representado na figura.



LUIZ, E. P. Avaliação dos métodos de fitorremediação [...] na remoção de chumbo, cobre e zinco. São Paulo: UFABC, 2016. Adaptado.

O método que retira o mercúrio de uma área contaminada, impedindo sua entrada na cadeia alimentar, é a

- (A) fitoestabilização, ficando o mercúrio disponível sob a superfície das raízes das plantas.
- (B) fitovolatilização, permitindo a retirada do mercúrio por plantas e a sua transferência para uma forma volátil.
- (C) fitodegradação, com a degradação do mercúrio promovida por enzimas, contidas nas raízes, formando espécies menos tóxicas.
- (D) fitoestimulação, com a remoção do mercúrio pela ação de microrganismos presentes nas raízes que absorvem e imobilizam o metal.
- (E) fitoextração, em que as plantas que acumulam o mercúrio são cultivadas nesses locais, e a biomassa rica no metal é retirada após o crescimento.

Como resolver

- 01** “Impedindo sua entrada na cadeia alimentar” exige que o mercúrio saia do sistema, não apenas mude de forma ou fique imobilizado no solo.
- 02** Fitoestabilização mantém o metal disponível, fitovolatilização libera na atmosfera, fitodegradação vale para orgânicos, fitoestimulação usa microrganismo.
- 03** Fitoextração remove o metal de fato, acumulado na parte aérea, e a biomassa é colhida.

E

Resposta correta · fitoextração

As quatro confusões que custam ponto

Dizer que a energia circula

A energia entra como luz, atravessa a cadeia e sai como calor, sem retornar. Só a matéria faz o caminho de volta, pelos decompositores.

Achar que anelar o tronco mata por falta de água

Quem retira um anel completo de casca corta o floema. O xilema continua levando água. A planta morre porque a raiz para de receber açúcar, não por sede.

Confundir fitoextração com os outros mecanismos

Fitoestabilização imobiliza, fitovolatilização transfere para o ar, fitodegradação quebra composto orgânico. Só a fitoextração remove o metal de verdade.

Tratar espécie invasora como aumento de biodiversidade

A invasora ocupa espaço e desloca várias nativas, então o número de espécies na área cai.

Agora é com você**01****ENEM 2020**

A fragmentação dos habitats é caracterizada pela formação de ilhas da paisagem original, circundadas por áreas transformadas. Imagine que uma população de onças foi isolada em uma mata pequena. Elas se extinguiriam mesmo sem terem sido abatidas. Diversos componentes da ilha de habitat, como tamanho, heterogeneidade, entorno, conectividade e efeito de borda são determinantes para a persistência das espécies.

Uma medida que auxilia na conservação da biodiversidade nas ilhas mencionadas compreende a

- (A) formação de micro-habitats.
- (B) ampliação do efeito de borda.
- (C) construção de corredores ecológicos.
- (D) promoção da sucessão ecológica.
- (E) introdução de novas espécies de animais e vegetais.

02**ENEM 2025**

O bioma Cerrado é caracterizado por apresentar ampla e natural diversidade de espécies vegetais. Nos últimos tempos, o homem vem modificando esse cenário pela inserção de plantas exóticas, como o cultivo do capim-gordura, nativo do continente africano e utilizado como forma de pastagem. Essa espécie vegetal é capaz de se espalhar por grandes áreas, devido à sua agressividade e poder competitivo.

CARLOS JR., L. A.; BARBOSA, N. P. U.; FERNANDES, G. W. O capim-gordura e as invasões no Cerrado brasileiro. *Jornal do Biólogo*, mar.-jun. 2008. Adaptado.

Em longo prazo, essa ação do homem pode gerar qual consequência?

- (A) Diversificar nichos ecológicos.
- (B) Assorear as nascentes do bioma.
- (C) Dificultar a infiltração de água na terra.
- (D) Diminuir as espécies nativas do bioma.
- (E) Contribuir com a redução das queimadas.

Gabarito comentado na página 72

Agora é com você**03****ENEM 2021**

Nas angiospermas, além da fertilização da oosfera, existe uma segunda fertilização que resulta num tecido triploide.

Essa segunda fertilização foi importante evolutivamente, pois viabilizou a formação de um tecido de

- (A) nutrição para o fruto.
- (B) reserva para o embrião.
- (C) revestimento para a semente.
- (D) proteção para o megagametófito.
- (E) vascularização para a planta jovem.

04**ENEM 2023**

Barbatimão é o nome popular de uma árvore cuja casca é utilizada para fins medicinais. Essa casca é constituída principalmente de dois tecidos vegetais, periderme e floema. A extração da casca tem levado à morte muitos indivíduos dessa espécie, quando o corte retira um anel completo ao longo da circunferência do tronco. Aqueles que têm parte da casca retirada sem completar essa circunferência podem sobreviver.

A morte desses indivíduos, decorrente da retirada do anel completo da casca, é provocada pela interrupção da

- (A) fotossíntese.
- (B) transpiração.
- (C) troca de gases.
- (D) formação de brotos.
- (E) nutrição das raízes.

Gabarito comentado na página 72

TUDO QUE VOCÊ PRECISA DECORAR

O ENEM entrega quase todo dado numérico dentro do enunciado. Esta seção reúne o que ele **não** entrega, e que por isso precisa sair de você na hora da prova.

ASSUNTO 01 · CITOLOGIA

osmose → água vai para o meio mais concentrado

Meio hipotônico, a água entra. Meio hipertônico, a água sai

respiração celular → glicólise, Krebs, fosforilação oxidativa

A maior parte do ATP sai na fosforilação oxidativa, com o retorno dos prótons pela ATP sintetase

microfilamento (actina) → forma e movimento

Microtúbulo (tubulina) → fuso mitótico e separação de cromossomos

ASSUNTO 02 · GENÉTICA

$$p + q = 1$$

Frequência dos dois alelos de um gene numa população

$$p^2 + 2pq + q^2 = 1$$

Frequência dos genótipos, equilíbrio de Hardy-Weinberg. Comece sempre pelo homozigoto recessivo (q^2)

com três alelos (sistema ABO) → $p + q + r = 1$

$p = I^A$, $q = I^B$, $r = i$

COMO LER HEREDOGRAMA EM TRÊS PASSOS

Comece pelo recessivo, que entrega o genótipo de graça. Confira se o homem é sempre manifestante ou não portador (nunca portador). Se a mulher manifesta característica ligada ao X, o pai também manifesta.

Assuntos 03 e 04 · Evolução e Microbiologia

ASSUNTO 03 · EVOLUÇÃO

variação → seleção → mudança de frequência

Nunca “organismo desenvolveu para”. A variação já existia antes da pressão ambiental

homologia → mesma origem, função podendo diferir

Analogia → função parecida, origens diferentes (convergência adaptativa)

coevolução patógeno-hospedeiro → menor letalidade = convivência mais antiga

Matar rápido demais atrapalha a própria transmissão do patógeno

ASSUNTO 04 · MICROBIOLOGIA E SAÚDE

bactéria = procarionte · fungo e protozoário = eucariontes · vírus = não é célula

O alvo de um remédio seletivo precisa existir só no causador

vacina → antígeno → imunidade ativa, com memória

Soro → anticorpo pronto → imunidade passiva, sem memória

vírus de RNA + PCR → precisa de transcrição reversa antes (RT-PCR)

A polimerase da PCR só lê DNA

A TROCA QUE A PROVA MAIS EXPLORA

HIV destrói linfócito T (aids). HTLV-1 multiplica linfócito T (risco de câncer).

Assunto 05 · Fisiologia humana

ASSUNTO 05 · FISIOLOGIA HUMANA

eritropoetina ↑ → **hemácia** ↑ → **hemoglobina** ↑ → **transporte de O₂** ↑

Efeito do doping sanguíneo, não é ganho de massa muscular

rim → **filtra tudo, reabsorve o que serve, elimina ureia**

Ureia é a forma pouco tóxica do nitrogênio que sobra da quebra de proteína

reflexo patelar → **arco reflexo fecha na medula**

Não passa pelo encéfalo antes da resposta motora

cone → **cor, precisa de luz** · **bastonete** → **sem cor, funciona no escuro**

Animal noturno tem mais bastonete

corpo lúteo → **progesterona e estrógeno** → **regride sem fecundação**

A regressão derruba os hormônios e inicia a menstruação

FECUNDAÇÃO EM DUAS BARREIRAS

O espermatozoide atravessa a coroa radiata e depois a zona pelúcida, com a ajuda das enzimas do acrossomo. Sem acrossomo, não há fecundação.

Assunto 06 · Ecologia, com botânica

ASSUNTO 06 · ECOLOGIA

energia → atravessa uma vez, se perde como calor

Matéria (C, N) → circula indefinidamente entre os organismos

nitrificação = oxidação · fixação e desnitrificação = redução

Siga o oxigênio: quem ganha oxigênio, oxida

bioacumulação (no indivíduo) → magnificação trófica (na cadeia)

Quanto mais alto na cadeia, maior a concentração acumulada

BOTÂNICA, DENTRO DE ECOLOGIA

xilema → água e sal, sobe · floema → açúcar, desce e distribui

Anelar o tronco corta o floema, e a planta morre pela raiz, não por sede

fecundação dupla → zigoto (embrião) + endosperma (reserva, 3n)

Exclusividade das angiospermas

fitoextração → única que retira o metal de fato do ambiente

As outras (estabilização, volatilização, degradação, estimulação) não removem o poluente do sistema

CONFIRA ANTES DE VIRAR A PÁGINA

Toda fórmula usada nas 36 questões desta apostila está nestas quatro páginas. Se você travou em algum exercício por não lembrar de uma relação, ela está aqui e vale marcar.

CONFIRA O QUE VOCÊ RESPONDEU

O comentário abaixo não é resolução completa. Ele traz o suficiente para você entender onde errou. Se um item continuar confuso depois de lido, volte à página de teoria daquele assunto.

Assunto 01 · Citologia

- C** A droga afeta os **microfilamentos**, que respondem pela forma da célula e pelo movimento. O material genético e a membrana não foram citados como alvo.
- E** A termogenina interfere na **fosforilação oxidativa**, desviando o retorno dos prótons da ATP sintetase e gerando calor no lugar de ATP.
- E** A queda de atividade depois do pico de temperatura é **desnaturação**, a enzima perdendo a forma tridimensional, e não falta de substrato.
- E** Micronúcleos são fragmentos que se originam de **cromossomos** que não chegaram ao polo durante a divisão celular.

Assunto 02 · Genética

- D** A segunda lei de Mendel falha quando os genes estão **fisicamente próximos no mesmo cromossomo**, e por isso tendem a ser herdados juntos (ligação gênica).
- E** A inativação aleatória do X entre células diferentes do mesmo corpo produz **expressividade variável** da doença recessiva ligada ao sexo.
- B** Trocar C por U no **códon 4** transforma CAA em UAA, um códon de parada, o que produz a proteína mais curta entre as alternativas.
- D** Com $q = 0,1$ e $r = 0,5$, a soma de doadores compatíveis com o grupo B (tipos B e O) dá **36%** da população.

Assunto 03 · Evolução

- D** Os quatro padrões reprodutivos mostram que o **sucesso reprodutivo pode ser garantido por estratégias diferentes**, não que uma é mais evoluída que outra.
- D** O mimetismo com a coral-verdadeira **reduz a predação** sobre a falsa-coral, que não é peçonhenta, porque o predador não distingue as duas.
- C** O **tubo polínico** (número 3) é a aquisição que eliminou a dependência de água externa para a fecundação, permitindo a conquista definitiva da terra.
- C** Em D1, o isolamento persiste mesmo sem a barreira física, o que caracteriza **isolamento reprodutivo** e duas espécies distintas.

Assunto 04 · Microbiologia e saúde

- E** A vacina permite **eliminar o esquistossomo dentro do organismo antes da manifestação de sintomas**, ao contrário do tratamento tradicional, que age depois.
- A** A proteína spike, como antígeno, induz a **produção de anticorpos específicos** contra o vírus.
- B** O HTLV-1 estimula a proliferação descontrolada de linfócitos T, o que está associado ao desenvolvimento de **câncer**.
- C** A distribuição no tubo indica, na ordem, **aeróbio estrito, anaeróbio estrito e anaeróbio facultativo**.

Assunto 05 · Fisiologia humana

- C** Bastonetes mais sensíveis permitem **enxergar bem em ambientes mal iluminados**, à custa da distinção de cores.
- A** A principal função que o rim biônico precisa reproduzir é a **remoção de ureia**, o resíduo nitrogenado do metabolismo de proteína.
- D** Os inibidores do acrossomo impediram a **passagem do espermatozoide pela corona radiata e zona pelúcida**, etapa anterior à fusão das membranas.
- B** O reflexo patelar é coordenado pela **medula**, sem passar pelo encéfalo antes da resposta motora.

Assunto 06 · Ecologia

- C** Os **corredores ecológicos** reconectam fragmentos de hábitat, permitindo o trânsito de indivíduos entre as ilhas isoladas.
- D** A espécie invasora agressiva tende a **diminuir as espécies nativas** do bioma, ocupando espaço e recurso.
- B** A segunda fertilização das angiospermas forma o endosperma, tecido de **reserva para o embrião**.
- E** O anel completo interrompe o floema, e a morte é provocada pela interrupção da **nutrição das raízes**, que deixam de receber açúcar.

E AGORA, O QUE FAZER COM ISTO

- 01 Refaça o que você errou, alguns dias depois.** Sem olhar a resolução antes. Espalhar as revisões ao longo do tempo fixa mais do que repetir tudo de uma vez.
- 02 Volte à Dica do Prof do assunto que mais travou.** Aquelas páginas foram feitas para leitura rápida, e cabem numa revisão de dez minutos.
- 03 Use o formulário como cola na semana da prova.** São quatro páginas com tudo que o ENEM não entrega no enunciado.
- 04 Misture assuntos no mesmo dia.** A prova não separa as questões por capítulo, e o seu treino também não deveria.

CONTINUE ESTUDANDO COM A GENTE

Na plataforma Descomplica você encontra a trilha completa de Biologia, com videoaula, exercício comentado e correção de simulado.