

CIÊNCIAS NA ESCOLA

UM NOVO OLHAR SOBRE O
ENSINO DA EVOLUÇÃO BIOLÓGICA:
REFLEXÕES E PROPOSTAS

FRANCISCO ÂNGELO COUTINHO
FÁBIO AUGUSTO RODRIGUES E SILVA
FELIPE SALES DE OLIVEIRA
(ORGANIZADORES)



**FRANCISCO ÂNGELO COUTINHO
FÁBIO AUGUSTO RODRIGUES E SILVA
FELIPE SALES DE OLIVEIRA
(ORGANIZADORES)**

CIÊNCIAS NA ESCOLA

**UM NOVO OLHAR SOBRE O
ENSINO DA EVOLUÇÃO BIOLÓGICA:
REFLEXÕES E PROPOSTAS**



**São Paulo
2022**



EDITOR-CHEFE: PROF. DR. VALDIR LAMIM-GUEDES

CONSELHO EDITORIAL

PROF. DR. ALEXANDRE MARCELO BUENO (UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE) | **PROFA. DRA. ANNIE GISELE FERNANDES** (USP) | **PROF. DR. ANTÔNIO MANUEL FERREIRA** (UNIVERSIDADE DE AVEIRO, PORTUGAL) | **PROF. DR. CARLOS JUNIOR GONTIJO ROSA** (USP) | **PROFA. DRA. DEBORAH SANTOS PRADO** (CENTRO UNIVERSITÁRIO SENAC) | **PROF. DR. FÁBIO AUGUSTO RODRIGUES E SILVA** (UFOP) | **PROF. DR. FELIPE W. AMORIM** (UNESP) | **PROFA. DRA. FLAVIA MARIA CORRADIN** (USP) | **PROF. DR. FRANCISCO SECAF ALVES SILVEIRA** (UNIVERSIDADE ANHEMBI MORUMBI) | **PROF. DR. HORÁCIO COSTA** (USP) | **PROF. DR. JAVIER COLLADO RUANO** (UNIVERSIDAD NACIONAL DE EDUCACIÓN, EQUADOR) | **PROF. DR. JOSÉ AUGUSTO CARDOSO BERNARDES** (UNIVERSIDADE DE COIMBRA, PORTUGAL) | **PROF. DR. MARCOS PAULO GOMES MOL** (FUNDAÇÃO EZEQUIEL DIAS) | **PROF. DR. PEDRO ROBERTO JACOBI** (USP) | **PROF. DR. RENATO ARNALDO TAGNIN** (FACULDADES OSWALDO CRUZ) | **PROFA. DRA. SUZANA URSI** (USP) | **PROFA. DRA. YASMINE ANTONINI** (UFOP)

Contatos

http://



A Editora Na Raiz
é uma empresa com
DNA USP



Esta obra foi inteiramente financiada pelo
Conselho Nacional de Desenvolvimento
Científico e Tecnológico.

T314t Coutinho, Francisco Ângelo

**Ciências na escola: um novo olhar sobre o ensino da
evolução biológica: reflexões e propostas [livro
eletrônico] / Francisco Ângelo Coutinho, Fábio
Augusto Rodrigues e Silva, Felipe Sales de Oliveira
(Organizadores). São Paulo: Editora Na Raiz, 2022.**

200; 14,8 x 21 cm; pdf

ISBN 978-65-88711-24-8

DOI <https://doi.org/10.5281/zenodo.6954374>

**1. Educação. 2. Ensino remoto.
I. Título.**

CDD 370

5

1. PRIMEIROS APONTAMENTOS SOBRE O ENSINO DE EVOLUÇÃO E ABORDAGEM CTS

Fábio Augusto Rodrigues e Silva, Felipe Sales de Oliveira, Francisco Ângelo Coutinho

14

2. SELEÇÃO ARTIFICIAL: O PARADOXO DO GANHO E DA PERDA DE BIODIVERSIDADE

Luana Cordeiro da Fonseca, Felipe Sales de Oliveira, Francisco Ângelo Coutinho

59

3. A EVOLUÇÃO MICROBIANA EM UMA PERSPECTIVA CTSA: UMA PROPOSTA GAMIFICADA PARA O ENSINO DE CIÊNCIAS

Sarah Eliane de Matos Silva, Gabriela Frois Duarte, Fábio Augusto Rodrigues e Silva, Francisco Ângelo Coutinho

110

4. 5 MULHERES EVOLUEM? UMA NOVA PROPOSTA PARA SE ESTUDAR A EVOLUÇÃO HUMANA NO ENSINO DE BIOLOGIA

Debora do Prado Lisboa, Fábio Augusto Rodrigues e Silva

135

5. A SOCIOMATERIALIDADE DA EVOLUÇÃO HUMANA: UMA ABORDAGEM SOBRE O USO DO CARVÃO A PARTIR DA TEORIA ATOR-REDE

Igor Mateus Sousa Santana, Raí Leonardo de Jesus Santos, Francisco Ângelo Coutinho

157

6. O QUE É SER HUMANO? COMPREENDENDO A EVOLUÇÃO HUMANA SOB UMA PERSPECTIVA ATOR-REDE

Ashtari Mota Piancastelli

195

OS/AS AUTORES/AS

**1. PRIMEIROS
APONTAMENTOS SOBRE O
ENSINO DE EVOLUÇÃO E
ABORDAGEM CTSA**

.....

**FÁBIO AUGUSTO RODRIGUES E SILVA
FELIPE SALES DE OLIVEIRA
FRANCISCO ÂNGELO COUTINHO**

O tema Evolução nas escolas costuma ser trabalhado no último ano do Ensino Médio, em um único capítulo do livro didático, que não corresponde a 10% de todo o conteúdo da disciplina de Biologia (Zamberlan & Silva, 2012). Oliveira, Menezes e Duarte (2017) analisam ainda que muitos livros didáticos apresentam os conceitos relacionados aos conhecimentos históricos e técnicos da biologia evolutiva de forma equivocada e inapropriada. Como consequência, os autores destacam que é comum estudantes e professores apresentarem dificuldades em compreender a lógica do sistema de teorias evolutivas. Desse modo, se considerarmos que, muitas vezes, o livro didático continua sendo a principal (quando não a única) fonte de consulta dos (as) estudantes, e que muitos (as) professores (as) se baseiam apenas no livro didático para planejar suas aulas e outras atividades (Pereira, 2019), tais circunstâncias certamente têm comprometido o pleno entendimento dessa temática e, consequentemente, o processo de alfabetização científica como um todo.

Também vale destacar que, frequentemente, o que se observa no Ensino Médio, no trato do tema Evolução, é um choque entre o conhecimento científico e os dogmas religiosos, ao mesmo tempo em que, normalmente, o tema se restringe aos princípios da seleção natural e na apresentação das teorias Lamarckista e Darwinista (Costa, Melo & Teixeira, 2011), isto é, não são considerados aspectos

importantes, como: a seleção artificial, o estudo da história evolutiva das plantas e dos animais, sua origem, diversificação, além das consequências sociais, ambientais e de saúde de todo esse processo; a sociomaterialidade da evolução, com a noção da relevância de objetos, como o carvão, para os eventos relacionados à evolução humana; o apagamento do papel das mulheres no processo evolutivo; além da questão da criação de superbactérias originadas a partir da pressão seletiva devido às ações antrópicas.

Nessa perspectiva, é essencial que o ensino de evolução ofereça condições para a compreensão das ideias evolucionistas por meio de conteúdos contextualizados, que contribuam para o pensamento científico, crítico e reflexivo (Zamberlan & Silva, 2012). Para tanto, podemos utilizar os princípios norteadores da abordagem CTSA, a fim de trazer para a discussão dos fenômenos evolutivos a realidade dos estudantes. Dessa forma, a contextualização apresentada nesta obra é construída por meio de temas relacionados ao processo evolutivo, abordados de forma articulada e de modo que possam contribuir para a discussão dos conteúdos e conceitos científicos relacionados às questões socioambientais, culturais e éticas do público ao qual se destina (Santos, 2007).

Fica evidente que, para que se alcance um entendimento holístico do processo evolutivo, é importante que os (as) alunos (as), ao estudarem essa temática, não o façam apenas do ponto de vista

biológico e conceitual, mas, sim, que conheçam a história evolutiva vista por diferentes perspectivas, interesses envolvidos e consequências socioambientais. Assim, um dos objetivos da presente obra é tentar contribuir para a solução de alguns desses problemas, fornecendo subsídios para que os (as) professores (as) possam trabalhar esse tema de maneira mais atraente e eficaz. Dessa forma, os (as) estudantes poderão construir os conhecimentos científicos relativos ao processo evolutivo conforme dialogam e re-conhecem a sua própria realidade.

Mais recentemente, vemos que a Base Nacional Comum Curricular (2018) definiu como uma das Unidades Temáticas¹ das Ciências da Natureza, Vida e Evolução, destacando como aprendizagem essencial: o entendimento dos fenômenos evolutivos que originam a diversidade de formas de vida no planeta, de modo que, ao final da educação básica, os discentes sejam capazes de analisar as consequências do avanço científico, tecnológico e da intervenção humana sobre a natureza, para que, assim, competências cognitivas, comunicativas, pessoais e sociais possam ser desenvolvidas e mobilizadas. Paralelamente, vemos que foram

¹ As Unidades Temáticas estabelecem um arranjo dos objetos de conhecimento ao longo do processo educativo, de acordo com as especificidades de cada componente curricular.

definidas três competências específicas para a área de Ciências da Natureza no Currículo de Referência de Minas Gerais (Minas Gerais, 2021, p. 38), sendo uma delas “construir e utilizar interpretações sobre a dinâmica da Vida, da Terra e do Cosmos para elaborar argumentos, realizar previsões sobre o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do Universo, e fundamentar decisões éticas e responsáveis”.

A presença destacada da temática Evolução nos novos documentos norteadores da prática pedagógica, tanto em Unidades Temáticas quanto em competências específicas, salienta como ela é importante em um contexto educativo que visa uma formação humana e cidadã. Entretanto, por se tratarem de documentos recentes, aliado ainda aos transtornos causados pelo período dos dois anos iniciais da pandemia de COVID-19, que compreendeu a interrupção das atividades escolares presenciais e, quando possível, a retomada em um formato remoto, ainda não foi possível verificar se essas novas normativas ocasionaram modificações na prática docente.

Cabe acompanhar se, a partir desses documentos, e, conseqüentemente, com a readequação dos livros e outros materiais didáticos, teremos alguma mudança de cenário. É justamente nessa lacuna que esta obra se enquadra, pois (1) ao oferecer reflexões e propostas orientadas pelas perspectivas curriculares mais atuais da

Educação em Ciências, (II) apresentar uma abordagem que desconstrói algumas das narrativas hegemônicas e excludentes sobre o tema, (III) considerar as demandas da Educação do Campo, (IV) incluir o uso das tecnologias educacionais e (V) ao sugerir a realização de uma aula gamificada, possibilita um olhar idiossincrático sobre o processo evolutivo que não se encontra em outros recursos didáticos.

Na primeira sequência didática, “SELEÇÃO ARTIFICIAL: o paradoxo do ganho e da perda de biodiversidade” os (as) autores (as) instigam os (as) leitores (as) a pensarem sobre um aspecto importante, porém, poucas vezes lembrado quando se trata do processo evolutivo, que é o conceito de seleção artificial. Tal conceito é especialmente relevante quando pensamos na biodiversidade que encontramos atualmente no planeta Terra e sobre como a influência humana pôde e ainda pode determinar os rumos da evolução, influenciando diretamente a nossa dieta, além de ter revolucionado o nosso modo de vida, inclusive segmentando a divisão do trabalho entre o campo e a cidade. Vale destacar que esse capítulo foi pensado de maneira articulada com os pressupostos da Educação do Campo, porém, ele foi construído de forma que os (as) professores (as) também podem aproveitá-lo em um contexto urbano.

Na segunda sequência didática, “A EVOLUÇÃO MICROBIANA EM UMA PERSPECTIVA CTSA: uma proposta gamificada para o ensino de ciências” os (as) autores (as) propõem uma atividade

caracterizada pelo uso estratégico da lógica dos jogos para abordar um dos mais preocupantes exemplos de evento de hibridização emergente no século XXI, que é a criação das chamadas “superbactérias”. É demonstrado como esse fenômeno se relaciona com as ações antrópicas, deixando claro como muitas práticas perniciosas que levam ao desenvolvimento dessas superbactérias poderiam ser evitadas através da alfabetização científica.

Na terceira sequência didática, “AS MULHERES EVOLUEM? Uma nova proposta para se estudar a evolução humana no ensino de biologia” os (as) autores (as) problematizam a ausência da abordagem de gênero em textos e outros materiais didáticos, assim como nas aulas sobre evolução. Dessa forma, é proposta uma atividade que visa desconstruir discursos e práticas que constituem uma narrativa que exclui a importância e contribuição das mulheres para a evolução humana.

Na quarta sequência didática, “A SOCIOMATERIALIDADE DA EVOLUÇÃO HUMANA: Uma abordagem sobre o uso do carvão a partir da Teoria Ator-Rede” os autores evocam a teoria desenvolvida por Bruno Latour para explicar a importância dos agentes humanos e não humanos nos eventos relacionados à evolução humana. Em uma construção norteadada pelo uso do carvão, os autores argumentam que a intensificação do seu uso teria ocasionado impactos tão grandes no planeta, que alguns cientistas têm o entendimento que essas

modificações observáveis já seriam suficientes para caracterizar uma nova época geológica, denominada de Antropoceno.

Na quinta e última sequência didática, “O QUE É SER HUMANO? Compreendendo a evolução humana sob uma perspectiva Ator-rede”, a autora traz um dos assuntos mais polêmicos relacionados a evolução humana: nossa relação com os ancestrais e com os atuais primatas. Nessa proposta didática procura-se mobilizar os conceitos de adaptação, ancestralidade, descendência com modificação a partir da problematização que busca a reflexão sobre o que é ser humano. Essa problematização permeia atividades diferenciadas que envolvem o estudo de imagens, como por exemplo, representações de fósseis de hominídeos e árvores filogenéticas; e também de dramatização.

Referências bibliográficas

Brasil. (2018). *Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular*. Brasília. Disponível em: <<http://basenacionalcomum.mec.gov.br/>>. Acesso em: 08 jun. de 2022.

Costa, L. D. O., Melo, P. L. D. C., & Teixeira, F. M. (2011). Reflexões acerca das diferentes visões de alunos do ensino médio sobre a origem da diversidade biológica. *Ciência & Educação* (Bauru), 17, 115-128. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/ciedu/a/mqYFtRXFFTbpvH6CwmwvnSk/?lang=pt>>. Acesso em: 08 jun. 2022.

Minas Gerais. (2018). Secretaria de Estado de Educação. *Currículo Referência de Minas Gerais*. Minas Gerais. Disponível em: <<http://www2.educacao.mg.gov.br/images/documentos/20181012%20-%20Curr%C3%ADculo%20Refer%C3%Aancia%20de%20Minas%20Gerais%20vFinal.pdf>>. Acesso em: 08 jun. 2022.

**2. SELEÇÃO ARTIFICIAL:
O PARADÓXO DO GANHO E
DA PERDA DE
BIODIVERSIDADE**



**LUANA CORDEIRO DA FONSECA
FELIPE SALES DE OLIVEIRA
FRANCISCO ÂNGELO COUTINHO**

Introdução

O conceito de Evolução é central e gerador no ensino de Ciências, podendo ser explorado de diferentes formas. Neste capítulo apresentaremos uma proposta para o ensino de Evolução no contexto da Educação do Campo. Essa abordagem se justifica, pois sabemos que a Educação do Campo carece de metodologias consoantes com seus paradigmas teórico-epistemológicos e que poucos trabalhos são desenvolvidos de maneira dialógica com as demandas do próprio campo (Piancastelli et al., 2021).

Desse modo, para essa Sequência Didática (SD), trataremos de um aspecto importante do processo evolutivo, porém, muitas vezes negligenciado, que é a seleção artificial. Logo, vamos abordar de maneira mais aprofundada a domesticação de plantas e animais, além de discutir as consequências de tais ações antrópicas. Assim, pretendemos dar luz a um fenômeno que transformou (e continua transformando) o nosso ecossistema, influenciou (e ainda influencia) diretamente a nossa dieta, além de ter revolucionado o nosso modo de vida, inclusive segmentando a divisão do trabalho entre o campo e a cidade. Portanto, apesar da presente SD ter sido inspirada nas demandas da Educação do Campo, sendo assim baseada em práticas educativas e pedagógicas que estejam de acordo com a realidade da população camponesa, ela foi pensada de modo que os (as)

professores (as) também possam desenvolvê-la em um contexto urbano.

Para compreendermos o processo de domesticação das plantas e dos animais, é necessário retornarmos à História das Ciências sobre a evolução do ser humano. Dessa forma, podemos relacionar o ensino sobre a domesticação das plantas, com a contextualização histórica sobre o desenvolvimento das teorias científicas. O processo de hominização, ou seja, a evolução desde os Australopitecos até o *Homo sapiens sapiens*, influenciou o meio natural, corroborando para a distribuição, criação e extinção de diversas espécies (Silva, 2007).

Durante o período paleolítico, até o neolítico, os seres humanos eram nômades, sobrevivendo através da caça, pesca e coleta de frutos, raízes e ovos. Com o passar do tempo, iniciou um processo de sedentarização, marcando a transição cultural da colonização nômade para a permanente. No período neolítico, o ser humano percebeu que sementes das frutas consumidas quando atiradas ao solo, dependendo da condição, davam origem a novas plantas. Logo, começou a observar que poderiam usar as sementes para produzir alimentos e que poderiam caçar os animais e prendê-los em um cercado, evitando assim as perigosas buscas por alimentos (Mazoyer & Roudart, 2010). Ainda de acordo com esses autores, durante a Revolução Neolítica (conhecida também como revolução agrária), o ser humano passou a selecionar para o plantio os grãos e a induzir o

cruzamento de animais que possuíam as características que mais os interessavam (tamanho, produtividade, sabor, etc.). Como consequência desse processo, o homem primitivo aumentou sua própria valência ecológica² e deu-se, assim, origem ao processo de domesticação das plantas e dos animais.

A agricultura que surgiu nesse período, marcou o início do processo de seleção artificial das espécies, pois ao fazer a escolha dos grãos e dos animais para reprodução, o ser humano, de forma consciente ou inconsciente, propagava espécies que provavelmente, do ponto de vista natural, teriam poucas possibilidades de sobrevivência. Contudo, o início da agricultura, marca sobretudo o domínio sobre as plantas, o que não é necessariamente a domesticação, pois a domesticação das espécies, consiste na modificação de características comportamentais e genéticas.

A produção de alimentos contribuiu para que a espécie humana se fixasse em povoados e comunidades, aumentando a densidade populacional em uma determinada área. Com o desenvolvimento dos povoados/comunidades houve a necessidade de armazenar os alimentos, estimulando a criação de acampamentos mais resistentes, assim como de peças de cerâmicas para guardar os alimentos. Além

² A valência ecológica equivale a capacidade que as espécies possuem de se estabelecer em habitats diferentes, tolerando grandes variações ambientais.

disso, o processo de expansão impulsionado pela agricultura levou ao desenvolvimento das primeiras formas de “governo” e da divisão do trabalho (Mazoyer & Roudart, 2010).

Ao longo do desenvolvimento das comunidades, especialmente a partir da sociedade moderna, ampliou-se a necessidade de produção de alimentos. Em busca de ampliar a produção e selecionar com precisão as características dos alimentos em função dos interesses da sociedade, o ser humano passou a cruzar espécies diferentes, mas com alguma proximidade, dando origem aos híbridos (hibridismo). Com o avanço da Ciências e da Tecnologia (C&T), especialmente após a década de 1980, o ser humano desenvolveu uma técnica de inserção de genes de espécies distintas (transgenia), com o intuito de selecionar os genes de interesse, aumentar a produtividade e a resistência a determinadas situações, dando origem aos organismos geneticamente modificados (Nodari & Guerra, 2001). A produção de transgênicos certamente foi um marco no avanço da C&T, contribuindo para o aumento da qualidade nutricional (com a inserção de genes que expressam nutrientes que não são naturalmente encontrados na planta original), maior produtividade e resistência das plantas a diferentes tipos de doenças e pragas, levando a uma redução dos custos de produção. Todavia, é preciso refletir e problematizar as consequências do desenvolvimento científico e tecnológico por trás da transgenia, uma vez que não

podemos desconsiderar os potenciais impactos ao ambiente e à saúde.

A domesticação de plantas e animais foi um processo longo, que ocorreu em diferentes partes do mundo e em diferentes épocas. Entretanto, as modificações foram tantas, que as sociedades modernas se tornaram completamente dependentes das plantas e dos animais domesticados, e eles se tornaram dependentes dos seres humanos (a sobrevivência de muitas espécies depende de um manejo desenvolvido para atender às suas especificidades, o que não existiria no ambiente natural). Dessa forma, “se o homem abandonasse todos os ecossistemas cultivados do planeta, estes retornaram rapidamente a um estado de natureza próximo daquele no qual ele se encontrava há 10 mil anos” (Mazoyer & Roudart, 2010, p. 41).

A seleção artificial também traz alguns impactos nocivos à natureza, como a redução da biodiversidade, perda da dispersão de sementes e perda da sensibilidade de fatores ambientais da germinação. Ademais, no caso específico do transgênicos, identificamos alguns riscos à humanidade, como a resistência a antibióticos, desenvolvimento de alergias e a produção de resíduos tóxicos. Convém ainda ressaltar uma questão social relacionada à alimentação: embora tenhamos um avanço da C&T, sobretudo com o uso dos transgênicos, observa-se a permanência de elevados indicadores de subnutrição no mundo.

Em resumo, como analisa Mazoyer e Roudart (2010, p. 110)

a revolução agrícola neolítica, como as outras revoluções agrícolas da história, não foi somente uma vasta mudança de sistema econômico preparado por toda uma série de mudanças técnicas. Ela também foi necessariamente condicionada por uma profunda revolução social e cultural.

Portanto, a chamada Revolução Verde³ foi marcada pela incorporação de novas práticas agrícolas, que elevaram o patamar da agricultura a uma escala global, gerando um novo modelo de gestão da agricultura, servindo de base para o surgimento do agronegócio. Nesse contexto, a natureza deixa de ser território de habitat para ser um meio econômico, acarretando na devastação dos ecossistemas, por meio do desmatamento, da compactação do solo, da manipulação e uso extensivo dos recursos hídricos, além da poluição e envenenamento causados pela utilização de insumos químicos, causando desequilíbrio ambiental e riscos à saúde. Soma-se a isso, as transformações no modo de vida dos pequenos produtores, que passaram a sofrer com desapropriações, problemas de saúde,

³ Fenômeno que simboliza o momento no qual a agricultura passa a ser feita em escala mundial, através de desenvolvimento e incorporação de novos meios tecnológicos na produção. Esse processo começou na segunda metade do século XX, mais precisamente entre as décadas de 1960 e 1970, especialmente nos EUA e na Europa, e, posteriormente, envolveu outros países.

esgotamento dos recursos naturais, exploração do trabalho e, em muitos casos, até mesmo a perda de suas identidades culturais.

Nota-se, portanto, que para a compreensão científica do processo de domesticação das plantas, é importante retornarmos aos processos históricos, sociais, culturais e tecnológicos, sempre analisando os fenômenos à luz dos interesses envolvidos. Sendo ainda pertinente a problematização das formas pelas quais as ações humanas transformam o meio natural e utilizam-se deste para o seu desenvolvimento e as suas possíveis consequências.

Nessa perspectiva, essa SD busca instrumentalizar os (as) professores (as) para que possam trabalhar a questão da Evolução para além da dimensão conceitual vigente, ou seja, alcançando também as dimensões: epistêmica, social e material, de forma contextualizada com a realidade dos estudantes.

Objetivos

- Compreender as formas pelas quais as ações humanas transformam o meio natural e utilizam-se deste para o seu desenvolvimento;
- Diferenciar seleção natural e seleção artificial;
- Compreender como se deu o processo de domesticação das plantas e dos animais e como esse processo fomentou a especiação;

- Entender o histórico e a influência do desenvolvimento da agropecuária no surgimento das sociedades até a pós-modernidade, além de problematizar o futuro dessa prática;
- Identificar no cotidiano dos (as) estudantes plantas e animais importantes para a sobrevivência e economia da sociedade, que passaram pelo processo de seleção artificial;
- Evidenciar as múltiplas associações entre os elementos sociais, econômicos, científicos e tecnológicos envolvidos na domesticação das plantas e dos animais;
- Identificar consequências e problemas ambientais da domesticação de animais e plantas em grande escala;
- Desenvolver o pensamento crítico, reflexivo e a argumentação;
- Construir uma rede de relações sociedade-natureza sobre a domesticação das plantas e animais;
- Problematizar os avanços da C&T e conhecer o Princípio da Precaução.

Habilidades da BNCC

(EM13CNT202) Analisar as diversas formas de manifestação da vida em seus diferentes níveis de organização, bem como as condições ambientais favoráveis e os fatores limitantes a elas, com ou

sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais (como softwares de simulação e de realidade virtual, entre outros).

(EM13CNT206) Justificar a importância da preservação e conservação da biodiversidade, considerando parâmetros qualitativos e quantitativos, e avaliar os efeitos da ação humana e das políticas ambientais para a garantia da sustentabilidade do planeta.

(EM13CNT301) Construir questões, elaborar hipóteses, previsões e estimativas, empregar instrumentos de medição e representar e interpretar modelos explicativos, dados e/ou resultados experimentais para construir, avaliar e justificar conclusões no enfrentamento de situações-problema sob uma perspectiva científica.

(EM13CNT303) Interpretar textos de divulgação científica que tratem de temáticas das Ciências da Natureza, disponíveis em diferentes mídias, considerando a apresentação dos dados, tanto na forma de textos como em equações, gráficos e/ou tabelas, a consistência dos argumentos e a coerência das conclusões, visando construir estratégias de seleção de fontes confiáveis de informações.

(EM13CNT304) Analisar e debater situações controversas sobre a aplicação de conhecimentos da área de Ciências da Natureza, com base em argumentos consistentes, legais, éticos e responsáveis, distinguindo diferentes pontos de vista.

(EM13CNT306) Avaliar os riscos envolvidos em atividades cotidianas, aplicando conhecimentos das Ciências da Natureza, para justificar o uso de equipamentos e recursos, bem como comportamentos de segurança, visando à integridade física, individual e coletiva, e socioambiental, podendo fazer uso de dispositivos e aplicativos digitais que viabilizem a estruturação de simulações de tais riscos;

Materiais necessários

- Recursos tecnológicos (computador, projetor, smartphones, caixas de som e conexão com a internet). Todo esse material pode ser adaptado, a depender das circunstâncias da escola, fazendo uso de papel, caneta e do quadro.

Esquema da sequência didática

Quadro 2.1: Esquema da sequência didática “SELEÇÃO ARTIFICIAL: o paradoxo do ganho e da perda de biodiversidade”.

Momento	Título do momento	Aula	Duração	Atividades	Temas e conceitos das aulas
1	Identificação dos subsunçores	1	1 aula de 50 minutos	Identificação dos subsunçores através de uma avaliação diagnóstica	Seleção natural, seleção artificial, especiação, organismos transgênicos e reprodução seletiva
2	Sempre foram assim? Passado e presente das plantas e animais domesticados	2, 3, 4 e 5	4 aulas de 50 minutos cada	Trabalho com vídeos, imagens e produção textual. Introdução ao trabalho de pesquisa e aula expositiva dialogada	Seleção artificial, fixismo, diversidade biológica, especiação, sistemas agrofloretais, vulnerabilidade genética, commodity, engenharia genética, melhoramento genético

3	A pesquisa enquanto processo formativo indispensável para uma prática pedagógica de qualidade	6 e 7	2 aulas de 50 minutos cada	Apresentação do trabalho de pesquisa e discussão sobre a Natureza da Ciência	Ciências humanas, divulgação científica, publicação e laboratório
4	Uma luz no fim do túnel	8, 9, 10 e 11	4 aulas de 50 minutos cada	Discussões em grupos. Trabalho com vídeos e produção textual. Aula expositiva dialogada	Sucessão ecológica, preservação ambiental, agricultura familiar, transgênicos, letramento midiático e informacional, luta camponesa, sementes crioulas, bancos de sêmen e sementes

Etapas da Sequência Didática

Momento 1: Identificação dos subsunçores

Os subsunçores, também chamados de conhecimentos prévios, são os conhecimentos específicos presentes no arcabouço de conhecimentos que um indivíduo traz em sua estrutura cognitiva, em função das suas experiências anteriores. Eles possibilitam dar significado a um novo saber que lhe é apresentado ou que ele descobre por si só, uma vez que a aprendizagem consiste na expansão ou modificação de um saber já existente. Assim, o primeiro momento desta SD é reservado para que o (a) professor (a) desenvolva uma atividade que possibilite recuperar os subsunçores dos (as) estudantes. Sendo assim, seus conhecimentos prévios são valorizados e servem de ponto de partida para a estruturação de novos saberes, fazendo com que o professor evite tanto a repetição de conteúdos quanto a perda de tempo com conhecimentos já sedimentados.

Duração:

Uma aula de cinquenta minutos

Aula 1: Avaliação diagnóstica

- **Metodologia a ser utilizada na aula:**

Para a identificação dos subsunçores, nesta SD propomos a aplicação de um questionário. A partir da expansão das redes de internet e o maior acesso aos dispositivos tecnológicos, especialmente em função do período de pandemia da COVID-19, sugerimos que o questionário seja feito online, através do *google docs*. Ele servirá como avaliação diagnóstica, no intuito de analisar o entendimento dos (as) alunos (as) sobre o conteúdo conceitual abordado na SD, além de verificar como eles se inserem no cotidiano dos alunos, ainda que de maneira ingênua.

O *google docs* permite que o (a) professor (a) disponibilize para os alunos o *link* de acesso ao questionário, de modo que os (as) estudantes possam responder de imediato em seus *smartphones*. Sugerimos que o (a) professor (a) dê ao menos 25 minutos para que os alunos respondam às perguntas propostas. Encerrado esse tempo, o (a) professor (a) pode comentar os resultados a partir de seu próprio *smartphone*, ou, se disponível, apresentar para toda a turma com o auxílio de um projetor. Todavia, se o (a) professor (a) identificar que não é possível realizar a atividade por meio digital, deve solicitar que os (as) alunos (as) respondam por escrito. Recolhidas as folhas com as respostas, o (a) professor (a) pode orientar sobre como categorizar as respostas e solicitar a ajuda dos (as) alunos (as).

Independentemente do meio de realização, é importante que o (a) professor (a) destaque que as respostas devem ser dadas de acordo com os seus próprios conhecimentos, isto é, não são permitidas consultas de qualquer natureza, pois, somente dessa forma, será possível identificar com precisão os subsunçores. Por esse mesmo motivo, recomenda-se que a avaliação diagnóstica deva ser pontuada apenas para estimular a participação, de forma que todos os estudantes atinjam a pontuação máxima. Dessa forma, os (as) alunos (as) não sofrerão a pressão habitual de uma avaliação tradicional, fazendo com que eles finalizem mais rapidamente a atividade e garantindo que eles vão manifestar uma opinião genuína sobre o que se pede.

Durante a apresentação dos resultados, o (a) professor (a) não precisa ater-se em corrigir os eventuais erros conceituais, pois o único objetivo desta atividade é verificar como a temática se faz presente na vida dos (as) estudantes e o que eles já sabem sobre o assunto.

Em seguida apresentamos as perguntas relativas à avaliação diagnóstica, no entanto, fique livre para acrescentar, modificar ou retirar perguntas em função da sua realidade e necessidade:

- 1- Quais plantas você cultiva e quais os animais que você cria?
- 2- Qual a origem das sementes utilizadas na sua propriedade?
- 3- Como são feitos os cruzamentos dos animais na sua propriedade?

- 4- O que é um banco de sêmen?
- 5- O que são sementes crioulas?
- 6- Conceitue seleção natural.
- 7- Conceitue seleção artificial.
- 8- Conceitue especiação.
- 9- O que são organismos transgênicos?

10- Você acha que as plantas que você cultiva e/ou os animais que você cria sempre foram como eles são (mesmas características fenotípicas), desde a sua criação (surgimento na Terra)? De onde eles vieram, ou seja, foram criados por algum ser superior, são resultado de um processo natural ou induzido e contínuo ao longo do tempo ou você tem alguma outra explicação para a origem dessas espécies?

Momento 2: Sempre foram assim? Passado e presente das plantas e animais domesticados

Após o diagnóstico inicial sobre a familiaridade dos (as) estudantes com o tema, neste momento, a proposta é que o (a) professor (a) provoque seus alunos para que eles pensem se as plantas e animais que conhecem sempre foram da forma como eles veem, sem deixar de problematizar as razões e consequências das eventuais modificações identificadas.

Duração:

Quatro aulas de cinquenta minutos

Aulas 2 e 3: A transformação da vida nas mãos do homem

Duração da aula

Duas aulas de cinquenta minutos cada

- **Metodologia a ser utilizada na aula:**

Ao falar sobre evolução biológica, muitos alunos compartilham de uma visão fixista⁴, enquanto outros, mesmo compartilhando uma concepção evolucionista, ainda relacionam evolução com uma noção de progresso e aumento de complexidade. Essa visão equivocada tem origem em um entendimento do processo evolutivo enquanto uma sequência de modificações lineares das espécies no decorrer do tempo (Bizotto, Ghilardi-Lopes & Santos, 2016). Isso se justifica, em partes, pelo fato do termo evolução ser utilizado rotineiramente como sinônimo de “melhoria”. Contudo, sabemos que, cientificamente, a grosso modo, a evolução é entendida enquanto um processo de descendência com alterações a partir de um ancestral comum.

4 Teoria, geralmente baseada em conceitos religiosos, que defende que a diversidade das espécies que encontramos atualmente foi criada e se mantém fixa e inalterada com o passar do tempo.

Vemos ainda que, para aqueles que apresentam uma concepção evolucionista, pelo fato do estudo do processo evolutivo estar geralmente centrado no conceito de seleção natural, muitos alunos (as) podem imaginar que não existe intencionalidade e interferência humana no processo evolutivo, como ocorre através da reprodução seletiva, a partir de características desejáveis de animais e plantas.

Para ajudar a romper com essas concepções equivocadas, nesta aula, o (a) professor (a) deve realizar uma atividade em grupo, apresentando as questões e as imagens propostas para discussão, discriminadas a seguir.

Para essa atividade, será preciso dividir a turma em grupos de até cinco pessoas, começando com uma discussão inicial das questões intragrupos e, em seguida, inicia-se uma discussão intergrupos, de modo que cada grupo deve escolher um representante para sintetizar para os outros o que foi discutido dentro dos grupos.

Questões propostas para discussão em grupos:

1- Observe a imagem a seguir e responda: você reconhece esses animais? Eles pertencem à mesma espécie? Quais as diferenças (características físicas e comportamentais) entre eles? Ambos foram criados (no sentido de origem/aparecimento na Terra) juntos? Se não, qual deles surgiu primeiro e por quê?



Figura 2.1: Imagem retirada do site Proteção Animal Mundial: Disponível em: <https://www.worldanimalprotection.org.br/not%C3%ADcia/do-javali-ao-porco-doze-fatos-que-te-farao-pensar>.

2- Qual deles é utilizado na suinocultura e por quê?

3- Observe a imagem a seguir e responda: qual dessas espigas você escolheria para fazer o plantio e por quê? Todas essas variações observáveis surgiram juntas? Qual a sua explicação para tamanha diversidade?



Figura 2.2: Imagem retirada do Guia do Milho: tecnologia do campo à mesa (setembro/2010). Disponível em: <https://bit.ly/guiado milho>.

4- Há quanto tempo você acha que os porcos e o milho são domesticados pelos seres humanos?

5- Você acredita que a partir da domesticação, ao longo do tempo, é possível interferir na reprodução dos animais e das plantas, selecionando características que levam à modificações tão significativas a ponto de originar novas espécies?

6- Você reconhece outras espécies que passaram por esse mesmo processo?

Ao final das discussões o (a) professor (a) deve estimular a produção textual, solicitando que cada grupo sintetize suas contribuições em um texto a ser entregue ao final da aula. Apesar de ser escrito por um único integrante do grupo, o texto deve ser uma produção coletiva, expondo os consensos estabelecidos de forma colaborativa, tanto sobre o conteúdo tratado quanto sobre a organização do texto.

É sabido que os (as) alunos (as) apresentam concepções alternativas/equivocadas a respeito da evolução e diversidade (tanto vegetal quanto animal). Tais concepções, muitas vezes, têm origem na própria escola, mas, surgem, principalmente, a partir do convívio social, familiar e por influência das diferentes vertentes religiosas (Bizotto, Ghilardi-Lopes & Santos, 2016). Portanto, sabemos que essa temática incita polêmicas e visões polarizadas. Logo, é importante

que o (a) professor (a) esteja atento e saiba conduzir as discussões para que haja um bom aproveitamento das aulas.

Como foi possível perceber, utilizamos o porco (que tem origem nos javalis) como exemplo de domesticação animal, uma vez que ele é intensivamente utilizado na suinocultura e pode ter sido lembrado na avaliação diagnóstica. É possível aprofundar seus conhecimentos sobre a origem de todos os porcos que conhecemos atualmente no link: <https://www.suinoculturaindustrial.com.br/imprensa/%20a-historia-do-porco/20091117-135856-t091>

Outras espécies de animais podem ser lembradas, especialmente o cachorro (que tem origem no lobo), apesar dele não ser domesticado para fins alimentares na nossa cultura ocidental, estudos apontam que ele foi o primeiro animal domesticado pelos seres humanos.

Já como exemplo de domesticação vegetal e seleção artificial, utilizamos o milho (que tem origem no Teosinte⁵), único cereal nativo do Novo Mundo e o terceiro mais cultivado atualmente no planeta,

5 Gramínea que apresenta espigas sem sabugo, intitulado como “alimento dos deuses” pelos povos pré-colombianos. Estudos apontam que o Teosinte originou o milho através da seleção artificial realizada pela domesticação controlada pelos seres humanos. Ele ainda pode ser encontrado na América Central.

sendo considerado uma *commodity*⁶. Notoriamente vemos que o milho, que apresentava uma espiga com poucos grãos encobertos por uma casca mais rígida, com a domesticação, passou a apresentar grãos mais volumosos, sem casca e aprisionados no sabugo, o que não se observa no ancestral selvagem. Para além dessas características observáveis, o milho moderno também apresenta maior produtividade, resistência a doenças, melhor empalhamento, melhor resposta às práticas de manejo, maior qualidade nutricional, menor tombamento e quebramento de plantas, além de maior poder de adaptação a diferentes ambientes, como altas e baixas altitudes. Contudo, ao longo dos anos, devido ao grande processo de domesticação, aliado ao melhoramento genético, com o conseqüente surgimento de novas variedades, o milho se tornou completamente dependente da ação humana. Para saber mais sobre a origem e a domesticação do milho acesse o link: http://www.biologia.seed.pr.gov.br/arquivos/File/biotecnologia/milho_biotecnologia.pdf

6 São produtos de baixo valor agregado, de origem primária, padronizados, já que independem da sua origem, que são utilizados como matéria-prima para a fabricação de novos produtos, ou seja, mercadorias em estado bruto, que são produzidas em larga escala e que permitem uma estocagem sem que haja perda de qualidade, com um valor que obedece uma cotação internacional.

Para casa

Ao final das discussões, por conta da pergunta número 6 apresentada, os (as) alunos (as) podem indicar e/ou perguntar sobre outras espécies de plantas e animais (especialmente aquelas que eles cultivam e/ou criam). Nesse momento, o (a) professor (a) deve anotar as espécies mencionadas e solicitar que cada grupo escolha uma delas para a realização de uma pesquisa sobre suas origens, assim como sobre as influências da ação do homem no seu processo evolutivo, com o conseqüente surgimento de novas variedades/espécies. Os (as) alunos (as) também devem pesquisar os eventuais efeitos (da seleção artificial sofrida) ao meio ambiente e à sociedade, identificando vantagens e desvantagens de tais processos, trazendo análises sobre a questão como: bem-estar animal, poluição atmosférica por metano, poluição dos solos e recursos hídricos por produtos químicos, perda da biodiversidade, segurança e soberania alimentar, entre outros.

Adicionalmente, para além do aprendizado sobre a busca em fontes confiáveis e o desenvolvimento de habilidades de síntese e apresentação das informações encontradas, a pesquisa deve ser entendida enquanto processo de investigação científica. Para alcançar tal objetivo, o (a) professor (a) pode solicitar que os (as) alunos (as) façam um levantamento junto aos seus familiares e/ou comunidade, a fim de identificar as espécies mais cultivadas/criadas

na localidade, além de verificar o conhecimento deles sobre os resultados e consequências do processo de domesticação e seleção artificial.

A seguir apresentamos algumas perguntas que podem orientar a pesquisa dos alunos:

1. Quais são as/os plantas/animais que você cultiva/cria?
2. Qual a origem das/os sementes/animais/sêmen?
3. Diante de todas as espécies/raças/variedades existentes, por que você escolheu essa/s?
4. Todas essas espécies/raças/variedades sempre existiram e surgiram juntas ou você acredita que, a partir da domesticação, ao longo do tempo, é possível interferir na reprodução dos animais e das plantas, selecionando características que levam a modificações tão significativas a ponto de originar novas espécies?
5. Você acredita na evolução biológica, acredita que todos os seres vivos foram criados por um ser superior exatamente da forma como encontramos agora ou tem alguma outra explicação para justificar a biodiversidade encontrada?

Os resultados do trabalho deverão ser apresentados em uma aula posterior (indicaremos mais à frente). É importante lembrar que os alunos devem ser orientados para realizar as buscas em fontes

confiáveis, apresentando todas as fontes consultadas no momento da apresentação para apreciação.

Paralelamente, os (as) alunos (as) também precisam ser orientados sobre como: entrevistar as pessoas (informando que se trata de um trabalho para a escola, que os resultados não serão utilizados para fins não escolares e que os participantes não serão identificados), gravar o áudio (destacar a importância de utilizar dois celulares, uma vez que podem ocorrer problemas com a falta de bateria e/ou memória de um dos aparelhos, além de seguir os protocolos sanitários, caso ainda existam), categorizar os resultados (verificando o número de entrevistados que compartilham das mesmas opiniões), expressar os resultados em múltiplas linguagens (como a elaboração de tabelas e gráficos).

Aula 4 e 5: A seleção artificial em uma perspectiva CTS/A

Duração da aula

Duas aulas de cinquenta minutos cada

Apesar da agropecuária estar intimamente ligada à evolução humana ao longo de milhares de anos, tal domesticação (principalmente quando é feita em larga escala) leva à consequências ambientais significativas. Assim, a domesticação das plantas e animais é caracterizada com uma seleção artificial, indo contra a seleção natural, sendo mais uma forma de promover a especiação.

A partir desse contexto, o (a) professor (a) deve problematizar a situação lançando as seguintes questões para discussão em grupos:

1- A seleção artificial promovida pelo processo de domesticação de plantas e animais é maléfica ou benéfica para a natureza? E para o ser humano?

2- Quais as consequências sociais, ambientais, tecnológicas, geopolíticas e para a saúde desse processo?

3- Quem são os maiores beneficiados e os principais prejudicados?

4- A seleção artificial imposta pela agropecuária levou a um progresso inequívoco? Por quê?

5- Quais as consequências da seleção artificial no que se refere à variabilidade genética e como isso pode afetar a agropecuária artificial?

Assim como nas aulas anteriores, o (a) professor (a) deve dividir a turma em grupos de até cinco pessoas, começando com uma discussão inicial das questões intragrupos e, em seguida, inicia-se uma discussão intergrupos, de modo que cada grupo deve escolher um representante para sintetizar para os outros o que foi discutido dentro dos grupos.

Da mesma forma, o (a) professor (a) deve estimular a produção textual, solicitando que cada grupo sintetize suas contribuições em um texto a ser entregue ao final da aula.

Aprofundando os conhecimentos

Para mediar e enriquecer as discussões, é importante que o (a) professor (a) saiba que existem aproximadamente 250.000 espécies de plantas descritas, enquanto que apenas 30.000 são comestíveis (Marchetti, 2021). Todavia, somente 103 espécies representam 95% da alimentação mundial, sendo que, quatro espécies (soja, trigo, arroz e milho) representam mais de 50% de tudo que é plantado. Estudos indicam que o planeta tem 1,87 bilhão de hectares só de lavouras (Miranda, 2018). Naturalmente, cada hectare plantado representa alguma interferência humana na vegetação primária⁷ e, principalmente, quando feita de forma intensiva e em larga escala, sem considerar os princípios básicos dos Sistemas Agroflorestais⁸ (SAF), leva ao desmatamento, destruição e fragmentação de habitats, com uma considerável perda de biodiversidade, já que leva

7 Área que ainda mantém suas características originais, sendo pouco afetada pelas ações antrópicas.

8 Forma alternativa de utilização dos recursos naturais, que notadamente diminui ou não acarreta degradação ambiental, especialmente por considerar os princípios básicos de manejo sustentável dos agroecossistemas.

à extinção de várias espécies (especialmente as endêmicas). Estudos indicam que, por conta dessas ações antrópicas, estamos passando pela sexta, maior e mais abrangente extinção em massa de espécies da história do nosso planeta (Corrêa Neto et al., 2016). Também é preciso considerar que a seleção artificial acaba sendo um mecanismo de redução da variabilidade genética na natureza, tendo como uma de suas consequências, a perda de produção em virtude da uniformidade dos produtos plantados e criados. Isso ocorre pelo fato de uma parte dos genótipos disponíveis serem eliminados em função do interesse dos produtores, causando a chamada vulnerabilidade genética. Diante dessa uniformidade, o surgimento de uma situação adversa (praga, patógeno ou efeitos climáticos) acaba afetando todos os indivíduos por igual, podendo levar à perda por completo de lavouras e rebanhos (Carlini-Garcia, Pinto e Landell, 2013). Ao mesmo tempo, dados de 2016 da EMBRAPA, revelam que, com o advento da Engenharia Genética, já existem mais de 35 mil tipos de soja (Landgraf, 2016).

Diante desse contexto, essa questão também pode ser entendida como um paradoxo, uma vez que, por um lado, temos a perda da diversidade, e por outro, vemos um aumento vertiginoso da diversidade de algumas espécies, especialmente aquelas de maior interesse econômico. Fica portanto evidente que, atualmente, existe um favorecimento de empresas transnacionais de biotecnologia, que

apresentam uma grande influência na economia, na política e, conseqüentemente, no Estado. Em um sistema capitalista, tais empresas praticamente dominam a mercantilização de sementes, insumos químicos, sêmen e outros, de modo que o agropecuarista fica praticamente “refém” desses produtos agroindustriais se quiser ser competitivo, pagando *royalties* pela tecnologia embarcada e não apenas pelo produto per si. Logo, não é difícil entender que a produtividade e o lucro assumem o protagonismo em detrimento da preservação ambiental. Dessa forma, podemos considerar que houve uma quebra de paradigma na relação homem/ambiente, já que a natureza deixou de ser um habitat e transformou-se em um conjunto de recursos econômicos geridos e explorados pelo homem.

Momento 3: A pesquisa enquanto processo formativo indispensável para uma prática pedagógica de qualidade

A escola (e, conseqüentemente, a sala de aula) não pode ser entendida como um local de simples exposição e reprodução de conteúdos conceituais, mas, sim, como um ambiente diverso e dinâmico, no qual deve ser incentivada uma prática pedagógica reflexiva, ativa e investigativa. Aulas de ciências pautadas em uma prática tradicional/mecanicista/memorística são, na verdade, anticientíficas. Portanto, este momento é reservado para a

apresentação dos resultados do trabalho de pesquisa proposto no “Para casa” das aulas 2 e 3, do momento 2.

Duração:

Duas aulas de cinquenta minutos

Aulas 6 e 7: Apresentação dos resultados da pesquisa

Duração da aula

Duas aulas de cinquenta minutos cada

Metodologia a ser utilizada na aula:

Para organizar a ordem das apresentações, o professor pode utilizar o site “sorteador”, bastando dar um número para cada grupo e inserir as informações no site (processo bem simples e intuitivo). Recomenda-se que cada grupo tenha até 15 minutos para as suas considerações. Caso os recursos tecnológicos para a apresentação (como computador e projetor) estiverem disponíveis, é importante que o (a) professor (a) estimule a utilização.

Ao final das apresentações, é importante reservar ao menos 15 minutos para uma discussão geral sobre o desenvolvimento do trabalho de pesquisa. Assim os (as) alunos (as) poderão expressar suas dificuldades, soluções criadas e envolvimento com a proposta,

de modo que, tanto o (a) professor (a) quanto os (as) alunos (as) tenham um *feedback* sobre a atividade realizada.

Também é importante aproveitar o momento para debater sobre a opinião dos entrevistados com relação à crença em visões não científicas (e as possíveis justificativas para isso, como por exemplo, o grau de instrução), além de verificar se eles reconhecem os impactos do manejo realizado para o meio ambiente (se é benéfico ou maléfico).

Por fim, o (a) professor (a) deve aproveitar a oportunidade para explicar que é de forma similar a esta que as pesquisas científicas são desenvolvidas e validadas entre os pares, salientando que este tipo de pesquisa se enquadraria no âmbito das Ciências Humanas, deixando claro que existem outros tipos de pesquisa, para além dos laboratórios molhados (visão equivocada da ciência muito comum entre alunos).

Momento 4: Uma luz no fim do túnel

Duração:

Quatro aulas de cinquenta minutos

Aula 8 e 9: Agroflorestando o mundo em rede: a resistência camponesa frente ao agronegócio

Duração da aula

Duas aulas de cinquenta minutos cada

Metodologia a ser utilizada na aula:

Esta aula deve começar com o lançamento de mais uma série de perguntas para discussões em grupos. O objetivo é mapear os conhecimentos dos alunos sobre os SAF, o envolvimento dos (as) alunos (as) com eles e o reconhecimento desses enquanto: modo produtivo baseado na sucessão ecológica, análogos aos ecossistemas naturais, que otimiza o uso da terra ao conciliar a preservação ambiental com a produção de alimentos, conservando o solo e diminuindo a pressão pelo uso da terra para produção agropecuária, podendo até mesmo ser utilizado para restaurar florestas e recuperar áreas degradadas. Somado a isso, essa aula visa desenvolver o pensamento crítico e reflexivo ao abordar questões como o letramento midiático e informacional, demonstrando como o ensino de ciências pode auxiliar nesse processo tão importante.

A seguir são apresentadas as perguntas sugeridas:

- 1- Você lembra de alguma propaganda ou notícia veiculada nos meios de comunicação envolvendo a agropecuária? A informação apresentada era positiva ou negativa, em relação a essa prática?
- 2- O que são SAF?
- 3- Conhece ou já visitou algum?
- 4- Quais são seus benefícios e malefícios?

5- Como os SAF podem contribuir para a preservação das espécies?

6- Quem produz maior quantidade de alimentos por área, SAF ou a agropecuária artificial?

7- Quem retira mais carbono da atmosfera que o processo natural de regeneração florestal, SAF ou a agropecuária artificial?

Para auxiliar as discussões sobre os SAF, o(a) professor(a) poderá apresentar para os (as) estudantes o vídeo “Um projeto de vida para plantar sem queimar a Amazônia - As Caras da Restauração (Família Soares)” (Disponível no link: <https://www.youtube.com/watch?v=ntKr2ZbEn1Y&t=18s>). O vídeo retrata a mudança na forma de produção da Família Soares, que utilizava a prática de desmatamento e queima com fogo para preparar a terra antes de um plantio. Contudo, a partir do empoderamento das filhas mulheres e do estudo, a família descobriu um novo método de produção, aliando produção, preservação do ambiente e geração de renda familiar - os Sistemas Agroflorestais.

Para conduzir as discussões é importante que o (a) professor (a) tenha em mente que a propaganda e o domínio exercido pela mídia direciona a percepção da sociedade, de modo que grande parte das pessoas passa a acreditar que somente a agropecuária artificial pode satisfazer a necessidade de produção alimentícia que a população mundial precisa (Corrêa Neto et al., 2016). Estrategicamente, a

propaganda passa uma imagem distorcida fazendo parecer que o agronegócio é responsável por todo resultado da produção, como se ele fosse a única forma de produzir existente e resultante do progresso global. Entretanto, é preciso destacar que a agricultura familiar é responsável por mais da metade da produção do campo (Cabral & Santos, 2020).

Somado a isso, a propaganda também apresenta uma visão enviesada sobre os transgênicos, de modo que somente os supostos benefícios são apresentados, enquanto que sabemos que, duas décadas após a liberação do plantio, mais de um bilhão de pessoas no mundo ainda convivem com a fome. Portanto, é preciso desmistificar a primeira percepção equivocada sobre os transgênicos, a de que eles vão resolver o problema da fome no mundo.

Sabemos que nem uma aula, nem mesmo essa SD será suficiente para desmistificar todas as visões deturpadas que envolvem essas questões, portanto, é importante que o (a) professor (a) sempre realize atividades que possam contribuir com o desenvolvimento do letramento midiático e informacional, uma vez que esses envolvem: a definição e a articulação de necessidades informacionais; a localização e o acesso à informação; a organização da informação; o uso ético da informação; a comunicação da informação; a compreensão do papel e das funções das mídias em sociedades democráticas; a avaliação crítica do conteúdo midiático à

luz das funções da mídia; o compromisso junto às mídias para a autoexpressão e a participação democrática (Gomes, Penna & Arroio, 2020). Dessa forma, os (as) alunos (as) terão uma visão diferenciada sobre a origem e os interesses das informações que recebem, podendo refletir de forma crítica sobre elas, sabendo discernir sobre mensagens tendenciosas/distorcidas/falsas, além de realizar buscas em fontes confiáveis para se certificar das informações recebidas.

Aprofundando os conhecimentos

Durante as discussões, o (a) professor (a) pode destacar que, para além da perda da biodiversidade, outra consequência da agropecuária intensiva, por vezes esquecida, é a expropriação e expulsão de milhares de famílias camponesas do campo, provocando, dentre outros, o apagamento de suas práticas culturais e a perda de sua identidade camponesa, trazendo transtornos aos seus valores intrínsecos e intangíveis. Em suas localidades, surgiram ambientes artificiais, com foco na produção de alimentos em larga escala e, tendo como uma de suas consequências, a concentração de renda em um número restrito de pessoas/empresas. Isso também é resultado de políticas públicas determinadas pelos interesses das grandes corporações transnacionais.

Nesse sentido, como uma alternativa a essas práticas perniciosas é que surge a agroecologia e os SAF. A preservação da biodiversidade está intimamente relacionada com a manutenção de

ecossistemas funcionais, esses que dependem da diversidade de espécies, tendo cada uma delas sua função e relação de dependência, auxiliando na manutenção do equilíbrio ecológico. Para que isso ocorra, cada espécie precisa apresentar populações viáveis e isso só acontece com uma grande variabilidade genética, permitindo ajustes às alterações ambientais ao longo do tempo. Os SAF tentam preservar e mimetizar o que seria encontrado na natureza, auxiliando nesse processo de preservação e manutenção da variabilidade genética, de maneira oposta ao que acontece com a agropecuária artificial. Outra vantagem dos SAF é a maior conservação do solo, diante da cobertura feita pelas árvores, o que diminui a erosão do solo, aumenta a umidade e melhora o microclima da área.

Os SAF também estão diretamente relacionados à luta camponesa, sendo normalmente estabelecidos por famílias agricultoras, que assumem o protagonismo das práticas de manejo, isto é, bem diferente do que ocorre na agropecuária artificial. A diversificação da produção feita pelos agricultores nos SAF possibilita a obtenção de renda ao longo de todo o ano, minimizando a dependência de produtos externos. Assim, fica claro que os SAF também são uma forma de empoderar esses agricultores, antes “sufocados” pelo avanço do agronegócio.

Apesar de todas essas vantagens elencadas, também é preciso reconhecer que existem algumas dificuldades na implantação dos

SAF. Eles exigem um certo conhecimento técnico, por isso são mais difíceis de serem executados. Somado a isso, o custo inicial costuma ser mais elevado que as práticas convencionais. Por isso, o retorno financeiro leva mais tempo, o que acaba desestimulando sua adoção em larga escala. Todavia, esse cenário poderia ser facilmente revertido se fossem adotadas políticas públicas de incentivo, o que depende da sensibilização, conscientização e pressão popular exercida sobre os governantes.

Aula 10 e 11: Resistência camponesa: as sementes crioulas

Duração da aula

Duas aulas de cinquenta minutos cada

Metodologia a ser utilizada na aula:

Nesta aula continuaremos com o foco na resistência camponesa, aprofundando alguns dos conflitos vividos no campo, mas agora tratando de um aspecto de suma importância, mas que muitas vezes negligenciado, que são as sementes crioulas. No início da aula o (a) professor (a) deve lançar as seguintes perguntas:

- 1- Você sabe o que são sementes crioulas?
- 2- Você faz uso delas?
- 3- Você reconhece a importância delas?

Para complementar as discussões, o (a) professor (a) pode exibir o vídeo “Sementes Crioulas”, produzido pela Rede Sementes da Agroecologia, disponível no link: <https://www.youtube.com/watch?v=RuVILv9VBFk>

O vídeo tem menos de quatro minutos e explica de maneira didática a importância, função, origem e armazenamento das sementes crioulas.

Aprofundando os conhecimentos

Já discutimos que a agricultura moderna leva ao enfraquecimento da cultura campesina. Uma das formas de promover esse enfraquecimento foi a desqualificação comercial das sementes dos pequenos agricultores. Tal fato fez com que muitos deles fossem forçados a comprar os pacotes tecnológicos de sementes, gerando *royalties* para as empresas produtoras transnacionais. Reconhecendo os problemas dessa prática, o movimento de defesa e resistência da autonomia do campo, como a Via Campesina, incentivou um trabalho de defesa e resgate das sementes crioulas. Também chamadas de sementes tradicionais, as sementes crioulas são sementes de variedades locais, que foram utilizadas e guardadas por agricultores, por muitos anos. São caracterizadas por serem adaptadas às condições ambientais do seu local de origem. Essas sofreram um processo de seleção ao longo de

muito tempo e foram passadas de geração em geração, de modo que, até os dias atuais, são preservadas por algumas famílias de agricultores (chamadas de guardiãs) ou nos chamados bancos de sementes. A Lei de Sementes e Mudanças de 2003 (Lei 10.711/03) reconhece a semente crioula desde que trocada entre agricultores, nunca comercializada.

Apesar de, em geral, serem menos produtivas que as comerciais, as sementes crioulas são importantes fontes de variabilidade genética, logo, de preservação da biodiversidade, garantindo a proteção de espécies, além de alimentos mais saudáveis, por não necessitar de insumos químicos.

Para enriquecer o debate, o (a) professor (a) pode aprofundar os impactos da ação antrópica na perda da biodiversidade, informando que, para além da conversão de florestas pelo desmatamento, os avanços sobre área de reserva legal e a perda de variabilidade genética causadas pelo agronegócio, ainda existem riscos de outras naturezas, como catástrofes naturais, eventos climáticos extremos e guerras. Diante desses riscos, a forma encontrada para preservar as espécies vegetais existentes foi a criação de um grande banco de sementes, o chamado Silo Global de Sementes de Svalbard, criado em 2008 e localizado na Noruega. Popularmente conhecido como “O cofre do fim do mundo”, suas instalações subterrâneas foram projetadas para resistir a ataques de

bombas nucleares, tendo como objetivo a preservação do patrimônio genético e manutenção das variedades vegetais.

Ao final da exposição, o (a) professor (a) pode perguntar aos (às) estudantes se a criação desse silo remete a alguma passagem bíblica e quais as semelhanças e diferenças de ambos os casos.

Para finalizar, o (a) professor (a) pode exibir o vídeo da reportagem produzida pela TV Globo chamado “Inaugurado o 'Cofre do fim do mundo’”, disponível no link: <https://www.youtube.com/watch?v=kgToSGwWazM>

O vídeo tem pouco mais de dois minutos e ao anunciar a inauguração do silo, faz analogias a arca de Noé, podendo suscitar o debate sobre as divergências entre a ciência e a religião.

Proposta de avaliação

Entendemos que a avaliação cumpre melhor o seu papel quando ela é desenvolvida de forma processual ou formativa, isto é, aquela que ocorre de forma diversificada, sendo desenvolvida ao longo de todo o processo formativo, na qual o aluno recebe *feedbacks* constantes sobre o seu desempenho e tem a possibilidade de revisitar suas atividades e atitudes, até alcançar os objetivos propostos. Nesse sentido, para esta SD, sugerimos que ela seja desenvolvida da seguinte forma:

- 1- Realização da avaliação diagnóstica;

- 2- Participação nas discussões;
- 3- Entrega dos textos solicitados;
- 4- Desenvolvimento e apresentação do trabalho de pesquisa

Considerações finais

Para além da presença nos documentos norteadores, entendemos ser fundamental que escolas e demais instituições educativas incorporem o ensino da evolução com um enfoque ecológico-evolutivo, em uma abordagem CTS/A e como eixo estruturador das disciplinas de ciências e Biologia, incluindo desdobramentos históricos, sociais, científicos, políticos, tecnológicos, econômicos e de saúde nas discussões. Pensamos que, dessa forma, é possível apresentar o conceito de evolução com um maior potencial explicativo e preditivo, alcançando, assim, determinada vantagem em comparação aos conhecimentos prévios presentes na estrutura cognitiva dos (as) alunos (as).

Paralelamente, faz-se necessário uma atenção especial aos cursos de formação inicial de professores, para que esses não se atenham exclusivamente aos conteúdos conceituais, pois isso acaba tornando o ensino desestimulante e distante da realidade dos (das) estudantes. Dessa forma, faz-se necessário que tais cursos possam oportunizar uma formação holística sobre o processo evolutivo, dando luz às suas diferentes facetas e apresentando estratégias

didáticas inovadoras, uma vez que essa temática afeta diretamente nosso entendimento enquanto ser vivo, nossa relação com o meio ambiente e dita os rumos do nosso futuro enquanto espécie habitante do planeta terra.

Ao mesmo tempo, não podemos negligenciar a formação continuada dos (das) professores (as) em exercício, para que estes (as) também saibam reconhecer e trabalhar com os pressupostos teórico-metodológicos mais atuais que embasam a temática. Assim, esperamos que esta SD possa ter ajudado em todos esses processos.

Agradecimentos. Francisco Ângelo Coutinho é grato ao CNPq pela bolsa de produtividade e pelo apoio financeiro.

Referências bibliográficas

- Bizotto, F. M., Ghilardi-Lopes, N. P., & Santos, C. M. D. (2016). A vida desconhecida das plantas: concepções de alunos do Ensino Superior sobre evolução e diversidade das plantas. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 15(3), 394-411.
- Cabral, M., & Santos, H. (2020). Inovação e desenvolvimento agrário: o macroprograma de agricultura familiar da EMBRAPA e os objetivos constitucionais. *Revista Jurídica da FA7*, 17(3), 133-153.
- Carlini-Garcia, L. A., Pinto, L. R., & Landell, M. G. A. (2013). Importância da manutenção da variabilidade genética para os produtores rurais. *Pesqu. & Tecnol*, 10, 1-5.

- Corrêa Neto, N. E., Messerschmidt, N. M., Steenbock, W., & Monerat, P. F. (2016). Agroflorestando o mundo de facção a trator. *COOPERAFLORESTA*, 177 p.
- Gomes, S. F., Penna, J. C. B. D. O., & Arroio, A. (2020). Fake news científicas: percepção, persuasão e letramento. *Ciência & Educação (Bauru)*, 26.
- Landgraf, L. (2016, May 13). Coleção com diferentes tipos de soja é destaque da Embrapa na ExpoLondrina. [Web page]. Disponível em: <[https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/11543243/colecao-com-diferentes-tipos-de-soja-e-destaque-da-embrapa-na-expolondrina#:~:text=%22%20\(BAG\).- ,Durante%20a%20ExpoLondrina%2C%20os%20visitantes%20poder%C3%A3o%20conhecer%20alguns%20dos%20exemplares,tipos%20de%20sementes%20de%20soja](https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/11543243/colecao-com-diferentes-tipos-de-soja-e-destaque-da-embrapa-na-expolondrina#:~:text=%22%20(BAG).- ,Durante%20a%20ExpoLondrina%2C%20os%20visitantes%20poder%C3%A3o%20conhecer%20alguns%20dos%20exemplares,tipos%20de%20sementes%20de%20soja)>. Acesso em: 15 mai. de 2022.
- Marchetti, F. F. (2021). Agrobiodiversidade, sociedade e academia: uma revisão com enfoque na conservação e na pesquisa interdisciplinar. In: Sousa, C. S., Lima F. S., Sabioni, S. C. (Org.). *Agroecologia: métodos e técnicas para uma agricultura sustentável*. 1ed. Guarujá: Científica Digital, 5, 16-36.
- Mazoyer, M., & Roudart, L. (2010). *Histórias das agriculturas no mundo. Do neolítico à crise contemporânea*. São Paulo: Editora UNESP; Brasília, DF: NEAD. 568 p.
- Miranda, E. E. (2018). Potência agrícola e ambiental: áreas cultivadas no Brasil e no mundo. *Agroanalysis*, 38(2), 25-27.
- Nodari, R. O., & Guerra, M. P. (2001). Avaliação de riscos ambientais de plantas transgênicas. *Cadernos de Ciência e Tecnologia*, 18(1), 81-116.

Piancastelli, A. M., de Araújo, B. G., Mota, J. Q., Vianey, J. P., & Oliveira, F. S. (2021). A formação inicial de professores e a educação do campo: uma proposta de jogo para o ensino da parasitologia. *Revista Brasileira de Educação do Campo*, 6.

Silva, G. (2007). Complexidade: Um novo/antigo modo de pensar. *interFACES*, 10(1), 92-100.

**3. A EVOLUÇÃO MICROBIANA
EM UMA PERSPECTIVA CTSA:
UMA PROPOSTA GAMIFICADA
PARA O ENSINO DE CIÊNCIAS**

.....

**SARAH ELIANE DE MATOS SILVA
GABRIELA FROIS DUARTE
FÁBIO AUGUSTO RODRIGUES E SILVA
FRANCISCO ÂNGELO COUTINHO**

Introdução

Um dos mais preocupantes exemplos de evento de hibridização emergente no século XXI consiste na ocorrência de “superbactérias” - bactérias resistentes a vários antibióticos -, devido à ação antrópica. Atualmente, as cepas multirresistentes têm se tornado uma grande preocupação para a saúde pública e animal. A resistência microbiana se revela uma questão complexa, devido à capacidade de as bactérias se adaptarem rapidamente e serem selecionadas pela pressão seletiva existente no ambiente (Acar & Moulin, 2012; Silva, 2019).

Convém destacar que a descrição do primeiro antibiótico - a penicilina - por Alexander Fleming, em 1928, revolucionou a história da humanidade. Imagine como seria a vida sem esses medicamentos fantásticos, com capacidade de dizimar as infecções bacterianas, agindo com toxicidade seletiva e possibilitando a cura de várias doenças fatais, além de salvar a vida de milhões de pessoas de uma só vez. Apesar disso, já no final da década de 1950, as drogas milagrosas começaram a perder sua magia, uma vez que infecções com tratamento complexo, envolvendo bactérias resistentes, começaram a ser relatadas, gerando, a partir daí, uma busca incessante por novos antibióticos. Mais de cem antibióticos diferentes foram desenvolvidos e introduzidos nas décadas de 1950 e 1960 e os números de novas drogas continuaram aumentando na

década de 1980. No entanto, esse desenvolvimento desacelerou acentuadamente a partir da década de 1990 e os poucos antibióticos introduzidos neste século são basicamente variações daqueles produzidos anteriormente (Angus, 2022).

E a natureza sempre reage por último - a resistência a antibióticos continuou a se espalhar de modo assustador e o principal motivo baseia-se no fato dos mecanismos bacterianos que conferem resistência aos antibióticos poderem ser transferidos, não só para a progênie, de modo vertical, mas também de uma bactéria para outra, lateralmente. Assim, quando uma bactéria adquire vários mecanismos de resistência, ela pode se tornar resistente a uma variedade enorme de antibióticos - a reação da natureza foi esse resultado imprevisto, que minimizou o sucesso do uso dos antibióticos e se abateu sobre a humanidade. Nos dias atuais, juntamente com as devastadoras mudanças climáticas, o homem vê chegar uma era de epidemias que a medicina pode não conseguir curar. Os antibióticos representam uma das mais poderosas forças evolutivas encontradas pelas bactérias no seu tempo de vida na Terra e elas criaram defesas igualmente poderosas contra essa força.

A resistência bacteriana aos antibióticos, conferida por genes específicos, pode ser selecionada a partir de diferentes ações antrópicas que alteram as condições ambientais, entre elas: o uso incorreto e excessivo de antibióticos; a falta de acesso à água potável,

saneamento e higiene para humanos e animais; a falta de prevenção e controle eficiente de infecções em estabelecimentos de saúde e fazendas; e o acesso precário a medicamentos, vacinas e diagnósticos de qualidade a preços acessíveis. De acordo com Stuart B. Levy, diretor do Centro de Adaptação Genética e Resistência a Medicamentos da Universidade Tufts: “a resistência aos antibióticos exemplifica, por excelência, o darwinismo — o crescente aumento do uso de antibióticos, não apenas em pessoas, mas também em animais e na agricultura, causou uma seleção sem precedentes na história da evolução” (Angus, 2022).

Especificamente, vale mencionar que a poluição ambiental, provocada por produtos químicos, consiste em uma característica marcante do Antropoceno⁹. E, mais recentemente, as preocupações dos cientistas se voltaram para a poluição por antibióticos, uma vez que, somando-se o uso agrícola e médico, as cifras já totalizam mais de 250.000 toneladas por ano, levando à contaminação de rios, lagos e represas de abastecimento de água (Daley, 2015). Considerando que

⁹ Desde os anos 80, alguns pesquisadores começaram a definir o termo Antropoceno como uma época em que os efeitos da humanidade estariam afetando globalmente nosso planeta. A humanidade emerge como uma força significativa globalmente, capaz de interferir em processos críticos de nosso planeta, como a composição da atmosfera e outras propriedades (Artaxo, 2014, p.15).

as estações de tratamento de resíduos ainda não conseguem eliminar totalmente os antibióticos, a presença de tais substâncias pode afetar diversos seres vivos. Entre as principais fontes de poluição ambiental por antibióticos, é possível destacar: os resíduos humanos e animais; o uso de antibióticos na criação de animais e como pesticidas em lavouras de produção de grãos; o espalhamento de estrume e o uso de esgoto como fertilizante; e a água residual liberada de hospitais e fábricas de produção de antibióticos.

Diante do exposto, as consequências desse tipo de poluição são potencialmente graves. Uma vez que os microrganismos presentes no ambiente possuem e compartilham, coletivamente, diversos genes para resistência e virulência, a poluição ambiental por antibióticos provoca uma grande pressão seletiva. Essa pressão favorece a seleção natural de linhagens resistentes a drogas e o sucesso evolutivo dessas linhagens tem como consequência a disseminação desses genes por meio da transferência lateral — de uma espécie bacteriana para outra (Gray & Wenzel, 2020), favorecendo o aparecimento de superbactérias, além da ocorrência de patógenos emergentes.

Convém destacar que os antibióticos, mesmo em concentrações muito baixas, têm efeitos biológicos e evolutivos significativos, pois são capazes de induzir o aumento das taxas de mutação, recombinação e transferência gênica entre as células,

conferindo, assim, vantagens às bactérias como a sobrevivência na presença de metais pesados, desinfetantes ou antibióticos, além da possibilidade de colonização de novos hospedeiros, incluindo humanos. Desse modo, verifica-se que a resistência aos antibióticos consiste em um problema complexo e multifacetado, com grande relevância para a educação científica.

Na Filosofia, ontologia é um ramo da Metafísica que diz respeito a quais categorias de entidades existem e estão relacionadas (Lowe, 2007). Nesse sentido, com o intuito de nos afastarmos de uma estrutura estritamente filogenética — dependente de uma representação baseada em árvore — a presente proposta didática aponta para uma visão ontológica microbiana ampliada, em rede, com o intuito de contribuir para a melhor compreensão das relações Ciência-Tecnologia-Sociedade-Ambiente (CTSA). O intuito desse material de apoio é, portanto, contribuir com os professores para a contextualização do ensino de ciências, no nível médio, por meio de questões sociocientíficas — situações controversas, que podem ser transpostas para a educação científica e trabalhadas de forma interdisciplinar — relacionadas à evolução microbiana.

Nesta proposta didática iremos utilizar o formulário Google como recurso digital para o desenvolvimento de uma atividade diagnóstica gamificada — parte de uma sequência didática — contendo pontuações e níveis como elementos de jogo. Assim, o

presente capítulo, fundamentado na Teoria Ator-Rede (Latour, 2012), propõe um olhar sobre as novas formas de se relacionar na contemporaneidade, formas que unem atores humanos e não humanos para a produção de um coletivo, o qual tem como produto social o ator/actante híbrido.

O antropoceno e as superbactérias

O tempo é dividido pelos geólogos de acordo com mudanças marcantes no estado da Terra. Mudanças ambientais globais recentes sugerem que a Terra pode ter entrado em uma nova época geológica dominada pelo homem, o Antropoceno — período geológico caracterizado pelo dramático impacto global de nossa espécie no planeta (Artaxo, 2014). Atualmente, não há um acordo formal sobre quando o Antropoceno começou, porém há proposições de datas anteriores ao final da última glaciação até a década de 1960 (Lewis & Maslin, 2015).

As atividades socioeconômicas na Terra cresceram de modo significativo ao longo dos últimos 200 anos (Steffen et al., 2015). Com o início da Revolução Industrial, na segunda metade do século XVIII, o rápido crescimento populacional – somos 7,3 bilhões de habitantes hoje, e seremos cerca de 10 bilhões em 2050 (ONU, 2015) –, associado ao uso excessivo de recursos naturais, fez com que muitos indicadores de saúde da Terra se afastassem do nível de segurança. A

partir de 1950, o desenvolvimento humano e suas implicações no ecossistema terrestre cresceram exponencialmente. Atualmente, uma grande fração das áreas continentais sem gelo é ocupada por atividades humanas como agricultura e urbanização, entre outras (Artaxo, 2014).

Vale mencionar que as atividades humanas alteraram substancialmente a superfície terrestre, os oceanos e a atmosfera e reorganizaram a vida na Terra. As marcas do Antropoceno, portanto, são visíveis em todos os lugares por onde a espécie humana transita ou já esteve. A poluição de rios e oceanos por microplásticos ou múltiplas substâncias químicas; a alteração nos fluxos de nitrogênio pelo uso extensivo de fertilizantes na agricultura e, principalmente, as mudanças climáticas discutidas nas altas esferas da política mundial são algumas evidências de uma "época dos humanos" (Rodrigues, 2017). Podemos somar a esses exemplos o fato de que cada novo antibiótico foi e será combatido pela evolução da resistência; como ressalta o bioquímico Gerard Wright: "antibióticos à prova de resistência bacteriana são uma ficção" (Angus, 2022).

A atividade humana é, portanto, a causa dominante da maioria das mudanças ambientais contemporâneas (Lewis & Maslin, 2015). Convém destacar que a atividade humana afeta profundamente o meio ambiente, desde os principais ciclos biogeoquímicos da Terra até a evolução da vida. Como exemplo, é possível citar os antibióticos

liberados nas águas superficiais, por meio das estações de tratamento de águas residuais; a partir de resíduos metabólicos humanos e animais, resíduos agrícolas e resíduos industriais de antibióticos. Desse modo, a liberação dos antibióticos para as bacias hidrográficas e/ou ambientes em concentrações subletais para os microrganismos, contribui para a ocorrência de resistência a antibióticos e seleção de genes de resistência a antibióticos (Adegoke et al., 2018).

Tal problemática se deve ao fato de que as bactérias utilizam o sensoriamento de quórum para formar biofilme¹⁰, dentro do qual, genes de resistência a antibióticos são transferidos de bactérias resistentes a antibióticos para as cepas suscetíveis; conferindo resistência a elas. Esse mecanismo evolutivo bacteriano tem contribuído para a tendência crescente de resistência a múltiplos antibióticos e, até mesmo, para a resistência total. Convém destacar que os antibióticos, bactérias resistentes a antibióticos e a seleção de genes de resistência a antibióticos podem ser internalizados nas lavouras irrigadas com as águas superficiais, devolvendo as bactérias

¹⁰ Em muitos habitats, naturais ou artificiais, os microrganismos se aderem às superfícies, sejam elas abióticas ou bióticas, formando uma complexa matriz de biopolímeros, conhecida como biofilme, que os protege de riscos ambientais. Os biofilmes podem ser compostos por uma única espécie bacteriana ou por uma comunidade complexa e diversificada de microrganismos (bactérias, algas, fungos e protozoários) incorporados em uma matriz extracelular de polissacarídeos, exsudatos e detritos (Costerton et al., 1978).

ao homem de uma forma difícil de controlar. Nesse caso, algumas estratégias que, atualmente, têm sido discutidas para prevenir a ocorrência de superbactérias são: a extinção de quórum durante o tratamento de águas residuais para interromper o biofilme; bem como a verificação intermitente da eficácia do tratamento de águas residuais antes da liberação em corpos d'água receptores (Adegoke et al., 2018).

As ações humanas, portanto, podem constituir a pressão evolutiva mais importante da Terra. O desenvolvimento de diversos produtos, incluindo antibióticos, pesticidas, organismos geneticamente modificados, juntamente com o movimento de espécies para novos habitats, a colheita intensa e a pressão seletiva de temperaturas do ar mais altas — resultantes das emissões de gases de efeito estufa —, provavelmente alterarão os resultados evolutivos. Considerados coletivamente, não há análogo geológico (Palumbi, 2001; Artaxo, 2014). Além disso, dado que a vida útil de uma espécie é tipicamente de 1 a 10 milhões de anos, as taxas de mudança ambiental antropogênica, no futuro próximo, podem exceder as taxas de mudança encontradas por muitas espécies em sua história evolutiva (Lewis & Maslin, 2015).

Diante do exposto, a ocorrência de superbactérias representa uma questão sociocientífica — questão social complexa, às vezes controversa, que gira em torno de fenômenos científicos (Sadler,

2011; Chowdhury, 2016). Desse modo, o tema se aproxima da abordagem CTSA e pode contribuir para a educação de estudantes capazes de emitir opinião sobre questões relacionadas à ciência e tecnologia, bem como compreender os efeitos destas no ambiente e, também, na sociedade (Coutinho, Matos & Silva, 2014).

Superbactérias e o conceito de Saúde Única

Em 2021, a Organização Mundial da Saúde declarou que a resistência antimicrobiana é uma das 10 principais ameaças globais à saúde pública que a humanidade enfrenta (WHO, 2021). Nesse sentido, convém destacar o impacto humano no mundo microbiano, uma vez que o uso excessivo e em larga escala de antibióticos tem contribuído para a ocorrência de superbactérias no ambiente (Silva et al., 2022). Tal fato se deve à seleção e proliferação de bactérias patogênicas resistentes — uma evidência do processo de evolução por seleção natural.

Sobre o preocupante contexto de saúde pública mundial evidenciado — da disseminação de superbactérias no ambiente —, já no século XIX, o patologista alemão Rudolf Virchow (1821-1902) afirmava que entre animais e a medicina humana não há divisórias. Ao longo do século seguinte, foi-se verificando e discutindo, cada vez mais, a importância da junção entre saúde humana, animal e meio ambiente, até surgir o conceito “Uma Medicina”, adotado pelo

médico veterinário Calvin W. Schwabe (1927-2006), que depois se tornou “*One Health*” ou, em português, “Saúde Única”. Esse termo, que vem ganhando cada vez mais espaço nas discussões científicas, que tratam de questões ligadas à saúde e à epidemiologia, reconhece que a saúde dos seres humanos, animais, plantas e o ambiente são interconectados e interdependentes (Figura 3.1), incentivando a adoção de políticas públicas efetivas para a prevenção e controle de doenças patogênicas, em níveis local, regional, nacional e global.

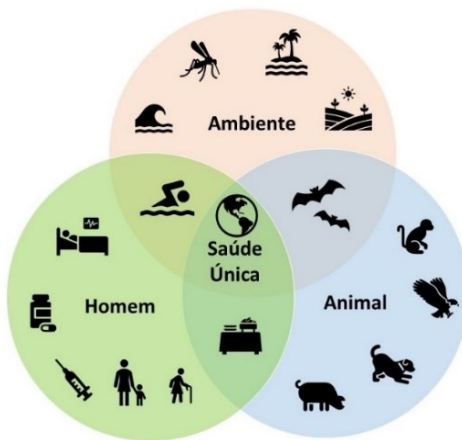


Figura 3.1: Esquema representativo do conceito de “Saúde Única”.
Fonte: INPRA (2020).

No Brasil — país que está entre os 10 maiores consumidores de antibióticos para uso em animais de produção — e em outros países, algumas estratégias estão sendo criadas para o combate da resistência aos antimicrobianos. Entre elas, é possível citar: a ampliação do saneamento básico; o controle e supervisão da venda de antimicrobianos; o desenvolvimento de compostos capazes de degradar os antibióticos no ambiente ou de removê-los do intestino

ou de corpos d'água; a pesquisa de antibióticos biodegradáveis; o desenvolvimento de novos métodos de alimentação animal e controle de alojamentos ou de densidades populacionais de animais de produção.

Desse modo, o Brasil e os demais países avançam em ações embasadas na ciência e na tecnologia, no sentido de implementar o uso racional dos antimicrobianos pela população, além de minimizar a ocorrência e a disseminação da resistência bacteriana no ambiente. Na figura 3.2, portanto, é possível observar que tal problemática representa um processo de hibridização entre ciência, tecnologia, sociedade e ambiente, por meio da atuação de diversos actantes.

A “crise global dos antibióticos” (Nogueira, 2017) representa, portanto, uma questão indispensável para a educação CTSA, uma vez que contribui para intensificar a participação ativa e crítica dos cidadãos na sociedade (Coutinho, Matos & Silva, 2014). Nesse sentido, Pedretti e Nazir (2011) destacam a importância de conceituar amplamente a alfabetização científica, a fim de incluir a tomada de decisão informada; a capacidade de analisar, sintetizar e avaliar informações; as perspectivas da natureza da ciência; o acoplamento de ciência, ética e raciocínio moral; e agência. Diante do exposto, a próxima seção pretende elucidar as contribuições da gamificação para o ensino de ciências, por meio do engajamento dos estudantes para a alfabetização científica.

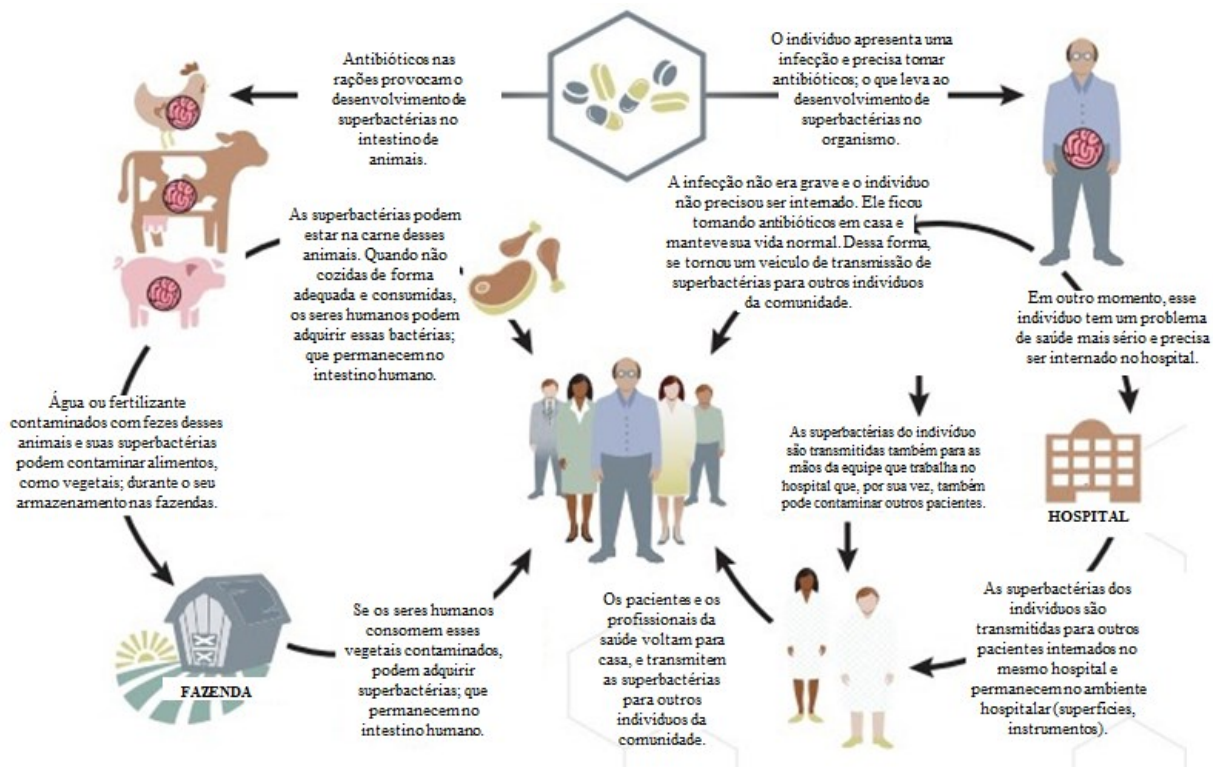


Figura 3.2: Esquema representativo das ameaças de resistência a antibióticos. Fonte: Adaptado de CDC (2013).

Contribuições da gamificação para a alfabetização científica

Recentemente, presenciamos um influxo maciço da tecnologia nos currículos de ciências, com o intuito de interromper o declínio na motivação dos estudantes para a aprendizagem científica e promover o pensamento científico (Kalogiannakis et al., 2021). Vários estudos evidenciam que o uso da gamificação na educação pode contribuir para aumentar a motivação e o engajamento para a alfabetização científica (Sailer et al., 2017; Hursen e Bas, 2019; Zimmerling et al., 2019; Kalogiannakis et al., 2021). Segundo Kapp (2012, p. 10), a gamificação é definida como “o uso de elementos de *design* de jogos, mecânica de jogo, estética e pensamento de jogo para aplicativos que não são jogos, com o intuito de motivar os estudantes”. Ou seja, é uma plataforma de educação, que visa internalizar as motivações externas dos estudantes, fornecer *feedbacks* e recompensas (Gokkaya, 2014).

Desse modo, a gamificação tem focado em engajar os estudantes digitalmente, utilizando plataformas ou aplicativos com o uso de dispositivos digitais como tablets, smartphones ou computadores (Klock et al., 2018). Segundo a revisão sistemática de Kalogiannakis e colaboradores (2021), as tecnologias digitais — como a gamificação — podem influenciar fortemente o processo de aprendizagem em áreas de conteúdo relacionadas ao ensino de

ciências, um campo em que muitos estudantes têm dificuldades em compreender conceitos. Ademais, os autores ressaltam que os elementos de jogos mais utilizados em ambientes gamificados, no ensino de ciências, são: 1) competição; 2) tabelas de classificação; 3) pontos; 4) níveis.

Na próxima seção, será descrita a atividade diagnóstica gamificada, construída por meio do formulário Google; sendo esta parte integrante da sequência didática proposta no capítulo.

Atividade diagnóstica gamificada

Como justificativa para a elaboração de uma atividade diferenciada, ressaltamos que a ontologia evolutiva microbiana geralmente é organizada de acordo com uma hierarquia de entidades, dispostas em vários níveis de organização biológica. Tipicamente, a identificação de linhagens ocorre por meio de aspectos mais estáveis dos processos evolutivos como, por exemplo, a herança vertical de uma entidade ancestral. No entanto, avanços recentes na microbiologia indicam que tal ontologia tem limitações importantes, pois subestima a extensão e a natureza da diversidade microbiana (Baptiste & Dupré, 2013). Assim, pretendemos evidenciar uma ontologia microbiana baseada em rede, a partir de exemplos de conexões ecológicas e trocas genéticas bacterianas por transferência

lateral de genes (TLG) — movimento de informação genética entre organismos/células distintas.

Para tanto, desenvolvemos uma atividade gamificada com enfoque CTSA, via Google Forms (<https://forms.gle/hhq7biycFUTiKqyX9>), baseada na situação-problema da ocorrência de superbactérias, devido à transferência lateral de genes (Apêndice 1). Algumas imagens utilizadas no desenvolvimento do formulário foram extraídas da plataforma *Freepik* (<https://www.freepik.com/home>), a qual disponibiliza recursos gráficos de domínio público, gratuitamente (Freepik, 2022).

Objetivos

- Interpretar informações e imagens relacionadas à evolução e diversidade bacteriana, sob uma perspectiva ontológica baseada em rede.
- Desenvolver o pensamento crítico e a argumentação, por meio de uma situação-problema do Antropoceno.
- Engajar os estudantes em uma atividade gamificada sobre superbactérias, com enfoque CTSA.

Habilidades da BNCC

(EM13CNT301) Construir questões, elaborar hipóteses, previsões e estimativas, empregar instrumentos de medição e

representar e interpretar modelos explicativos, dados e/ou resultados experimentais para construir, avaliar e justificar conclusões no enfrentamento de situações-problema sob uma perspectiva científica.

(EM13CNT303) Interpretar textos de divulgação científica que tratem de temáticas das Ciências da Natureza, disponíveis em diferentes mídias, considerando a apresentação dos dados, tanto na forma de textos como em equações, gráficos e/ou tabelas, a consistência dos argumentos e a coerência das conclusões, visando construir estratégias de seleção de fontes confiáveis de informações.

(EM13CNT304) Analisar e debater situações controversas sobre a aplicação de conhecimentos da área de Ciências da Natureza, com base em argumentos consistentes, legais, éticos e responsáveis, distinguindo diferentes pontos de vista.

(EM13CNT206) Justificar a importância da preservação e conservação da biodiversidade, considerando parâmetros qualitativos e quantitativos, e avaliar os efeitos da ação humana e das políticas ambientais para a garantia da sustentabilidade do planeta.

Materiais necessários

- Lousa e pincel;
- Caderno;
- Lápis ou caneta;

- Computador, smartphone ou tablet;
- Conexão com a internet;
- Acesso ao Google Forms
(<https://docs.google.com/forms/u/o/>)
- Tutorial do Google Forms
(<https://nucondi.paginas.ufsc.br/files/2020/07/Tutorial-Google-Forms.pdf>)

Esquema da sequência didática

Quadro 3.1: Esquema da Sequência Didática “A EVOLUÇÃO MICROBIANA EM UMA PERSPECTIVA CTSA: uma proposta gamificada para o ensino de ciências”.

Momento	Título do momento	Aula	Duração	Atividades	Temas e conceitos das aulas
1	Ciência-Tecnologia-Sociedade-Ambiente e a construção da “árvore da vida”.	1	50 minutos	Atividade diagnóstica gamificada. Roda de conversa: A dinâmica “árvore da vida”. Elaboração de um texto crítico argumentativo sobre a evolução da “árvore da vida”.	Relações CTSA (Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente).

2	A ontologia da evolução microbiana: um olhar sobre o mecanismo de transferência lateral de genes.	2	50 minutos	<p>Discussão do vídeo "A evolução de bactérias em uma mega placa de petri".</p> <p>Aula expositiva dialogada sobre os principais mecanismos de evolução bacteriana (conjugação, transformação e transdução).</p> <p>Pesquisa e construção de uma rede sobre TLG.</p>	<p>Evolução e diversidade bacteriana;</p> <p>Transferência lateral de genes.</p>
3	Ações antrópicas e a problemática da ocorrência de superbactérias.	3	50 minutos	<p>Pesquisa prévia de notícias atuais sobre a ocorrência de superbactérias.</p> <p>Aula debate: apontamento de controvérsias.</p> <p>Fechamento: problematização da interrupção precoce do uso de antibióticos.</p>	<p>Antropoceno; Poluição ambiental; Resistência aos antimicrobianos;</p> <p>Superbactérias.</p>

Etapas da Sequência Didática

Momento 1: Ciência-Tecnologia-Sociedade-Ambiente e a construção da “árvore da vida”

Este momento tem como objetivo mobilizar os conhecimentos prévios dos estudantes sobre a evolução da “árvore da vida”, com enfoque nas relações entre ciência, tecnologia, sociedade e ambiente.

Duração da aula:

Uma aula de cinquenta minutos

Nome da aula : 1

Duração da aula: 50 minutos

- **Metodologia a ser utilizada na aula:**

O (A) professor (a) apresentará os objetivos de aprendizagem e as atividades que compõem a sequência didática, com a finalidade de informar aos estudantes sobre a importância e relevância do tema. Os critérios para avaliação processual pelo (a) professor (a) são: interesse e participação dos estudantes; diálogo e respeito às

argumentações dos colegas e disponibilidade para a pesquisa e leitura de materiais diferenciados.

Com a finalidade de mobilizar os conhecimentos dos estudantes, o (a) professor (a) disponibilizará o link do formulário contendo a atividade diagnóstica gamificada (<https://forms.gle/hhq7biycFUTiKqyX9>). Após o acesso, eles deverão responder às questões de maneira individual e sem consulta. Em seguida, será realizada uma roda de conversa, na qual os estudantes terão liberdade de expor suas concepções (ideias-âncora) e debater sobre as contribuições dos colegas acerca da dinâmica “árvore da vida”. Para tanto, algumas perguntas orientadoras são:

- Como o avanço científico contribuiu para as modificações da “árvore da vida” ao longo do tempo?
- Como o avanço tecnológico contribuiu para as modificações da “árvore da vida” ao longo do tempo?
- De que maneira as modificações da “árvore da vida” podem influenciar na dinâmica da sociedade?

Por meio de uma aula dialogada, o (a) professor (a) mediará a discussão sobre a evolução da “árvore da vida”, comparando e contextualizando a proposta inicial de Darwin (1859), a de Carl Woese e George E. Fox (1977) — com enfoque nos eucariotos; até a mais

recente, proposta por Hug e colaboradores (2016), a qual sugere que as bactérias compõem a maioria dos ramos da vida. Em seguida, o (a) professor (a) solicitará que os estudantes elaborem um texto crítico argumentativo sobre a evolução da “árvore da vida”, embasado nos principais tópicos discutidos em sala de aula. Convém destacar que essa atividade poderá ser realizada em casa e entregue na aula seguinte, a critério do (a) professor (a).

Como atividade para casa, o (a) professor (a) solicitará que os estudantes assistam ao vídeo "A evolução de bactérias em uma mega placa de petri", disponível no link: <https://www.youtube.com/watch?v=tkidsnZhiXw>; o qual retrata a evolução bacteriana por meio da pressão de seleção provocada por antimicrobianos (Harvard Medical School, 2021).

Momento 2: A ontologia da evolução microbiana: um olhar sobre o mecanismo de transferência lateral de genes

Este momento tem como objetivo elucidar o mecanismo de transferência lateral de genes em bactérias, além de engajar os estudantes em discussões e reflexões sobre a ontologia da evolução microbiana.

Duração:

Uma aula de cinquenta minutos

- **Metodologia a ser utilizada na aula:**

Por meio de uma aula dialogada, o (a) professor (a) mediará a discussão sobre o vídeo "A evolução de bactérias em uma mega placa de petri", assistido previamente. Algumas perguntas orientadoras são:

- No vídeo, qual é o fator de seleção presente no meio de cultivo?
- Como as bactérias mutantes se originaram na mega placa de petri?
- De que maneira as mutações bacterianas podem contribuir para a resistência aos antibióticos?

Em seguida, o (a) professor (a) iniciará uma exposição dialogada sobre os principais mecanismos de evolução bacteriana (conjugação, transformação e transdução), buscando engajar os estudantes em reflexões sobre a extensão e natureza da diversidade microbiana, a partir da perspectiva de uma ontologia baseada em rede. Como atividade, sugerimos a pesquisa e construção de uma rede pelos estudantes, que evidencie exemplos de conexões ecológicas e trocas genéticas bacterianas por transferência lateral de genes. Para tanto, sugerimos como material de apoio, a leitura do texto "A árvore da vida" (Coutinho et al., 2011).

Momento 3: Ações antrópicas e a problemática da ocorrência de superbactérias

Descrição

Este momento tem como objetivo engajar os estudantes na pesquisa sobre a origem, causas e consequências da ocorrência de superbactérias no meio ambiente, além de gerar discussões, reflexões e controvérsias.

Duração:

Uma aula de cinquenta minutos

- **Metodologia a ser utilizada na aula:**

O (a) professor (a) dividirá a turma em grupos e solicitará a pesquisa de notícias atuais sobre a ocorrência de superbactérias. Cada grupo deverá selecionar uma notícia para fazer a leitura e discussão, a fim de identificar as principais controvérsias que emergem do tema. Vale mencionar que o (a) professor (a) deve incentivar a interação dos estudantes, proporcionando um espaço de participação colaborativa, autonomia intelectual, argumentação, debate e construção de novas ideias. Os grupos deverão realizar as suas anotações em uma folha de caderno e entregar para o (a) professor (a) ao final da aula.

Em seguida, o (a) professor (a) mediará uma discussão, a partir das controvérsias relatadas pelos grupos. Como sugestão, podem ser apresentadas as seguintes questões: “Após a leitura e discussão da notícia selecionada, você modificaria a primeira versão da sua rede?”; “Se sim, qual (is) elemento (s)/associação (ões) você incluiria?”; “Qual (is) elemento (s)/associação (ões) que você excluiria?”; “A nova versão da sua rede inclui atores não humanos e humanos?”; “A nova versão da sua rede evidencia as relações entre Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente?”; “De que maneira, a evolução microbiana se relaciona com a Ciência, a Tecnologia, a Sociedade e o Ambiente?”.

Como fechamento da sequência didática, sugerimos que o (a) professor (a) problematize a interrupção precoce do uso de antibióticos — como no caso do tratamento da tuberculose — e pergunte se os estudantes identificam o problema e se conseguem justificá-lo. O intuito é que, por meio da alfabetização científica, os estudantes se apropriem de noções mais amplas de causalidade, de ciclo, de continuidade e de intervalo de tempo. Desse modo, a simples melhoria dos sintomas deixará de ser vista como sinônimo de cura, ignorando a recomendação médica que inclui um intervalo de tempo muito maior, no qual o remédio continuará cumprindo seu papel (noções de concentração e meia vida); uma vez que esse intervalo de

tempo está relacionado com o ciclo da doença, e não com os sintomas.

Recomendamos, portanto, a leitura do texto “A crise dos antibióticos” (Nogueira, 2017), o qual reitera que todos nós somos responsáveis e vítimas da perda de eficácia dos antibióticos usados em Medicina, bem como pela crise global dos antibióticos. Em seguida, o (a) professor (a) pode dialogar com os estudantes sobre os aspectos mais relevantes para a análise da crise global dos antibióticos (causas da resistência aos antibióticos), que foram elencados no texto: 1) Excesso de prescrição de antibióticos por profissionais de saúde; 2) Os pacientes não cumprem o tratamento com antibióticos; 3) O abuso de antibióticos na pecuária e piscicultura; 4) O fraco controle de infeções em hospitais e clínicas, a falta de saneamento e a contaminação do meio ambiente; 5) Falta de desenvolvimento de novos antibióticos.

Ademais, sugerimos que o (a) professor (a) retome os principais tópicos do questionário diagnóstico, com o intuito de esclarecer as dúvidas remanescentes dos estudantes. Por fim, recomendamos a leitura do texto “A evolução da árvore da vida”, além dos textos de divulgação científica disponibilizados na seção *Materiais de apoio e complementares*.

Materiais de apoio e complementares

1. Texto: “A evolução da árvore da vida”

Desde que Darwin elaborou a Teoria da Evolução, cientistas têm tentado encontrar o modelo ideal para mostrar a história da evolução biológica (Coutinho et al., 2011). Nesse sentido, a “árvore da vida” — expressão utilizada por Darwin em seu livro “A Origem das Espécies” (1859) — se tornou uma representação útil na compreensão de como as espécies surgiram (tronco) e se diversificaram (galhos com ramificações) ao longo do tempo. As primeiras tentativas de elaborar a árvore da vida separavam os organismos com base em suas características físicas e metabólicas - mas esses modelos eram limitados por restrições, como a necessidade de observação e experimentação, para incluir novos organismos na árvore.

O uso de métodos moleculares possibilitou uma ampliação drástica na diversidade que poderia ser incluída na árvore da vida, uma vez que a distinção dos organismos passou a se dar com base no sequenciamento de genes marcadores, como os genes que codificam para a subunidade menor do RNA ribossômico (RNAr 16S), levando a uma visão do mundo biológico totalmente nova e extraordinária. Sendo assim, uma árvore apresentando o histórico evolutivo de todos os seres vivos foi proposta nos anos 70, por Carl Woese e George E.

Fox (Woese & Fox, 1977). Nela, foram incluídos os domínios Bacteria, Archaea e Eukarya, sendo o enfoque, porém, mantido no domínio dos eucariontes — grupo que inclui o *Homo sapiens*.

Anos depois, outro modelo de árvore da vida, o “Hillis plot”, proposto, em 2003, por pesquisadores da Universidade do Texas (Hillis et al., 2003), foi construído a partir da análise de amostras genéticas de 3 mil espécies – número que estima-se ser a raiz quadrada do número de espécies que se pensa existirem na Terra, algo em torno de 9 milhões de espécies, ou ainda 0,18% do 1,7 milhão de espécies formalmente classificadas pela ciência. Mais recentemente, após o desenvolvimento da técnica de metagenômica, um grupo de mais de 15 cientistas de universidades dos EUA e do Japão apresentou uma nova versão bem diferente da árvore da vida — baseada em sequências de proteínas ribossomais e com maior resolução do que as árvores anteriores. Esse novo modelo, portanto, mostra que a história das bactérias ao longo da evolução é incrivelmente mais rica e complexa do que se imaginava (Hug et al., 2016).

Assim, a nova árvore da vida aponta que todos os eucariontes — animais, plantas, fungos e protoctistas — se dispõem em um pequeno galho, com meros 2 bilhões de anos de idade, sendo completamente ofuscados pelo imenso histórico evolutivo do grupo das bactérias, o qual remonta à própria origem da vida. Com o avanço

científico e tecnológico, que possibilitou o sequenciamento do genoma das espécies, passamos a ter uma base muito mais sólida para investigar as relações entre os seres vivos, além de elucidar a ontologia da evolução microbiana.

2. Textos de divulgação científica:

- A árvore da vida (Coutinho et al., 2011)

https://www.academia.edu/4453954/A_%C3%A1rvore_da_vida

- Resistência a antibióticos e as superbactérias (ComCiência, 2018)

<https://www.comciencia.br/resistencia-antibioticos-e-as-superbacterias/>

- Resistência onipresente (UFMG, 2018)

<https://ufmg.br/comunicacao/publicacoes/boletim/edicao/sem-o-vicio-na-memoria/resistencia-onipresente>

- OMS alerta: Em 2050 superbactérias devem matar uma pessoa a cada três segundos (ICTQ, 2021)

<https://ictq.com.br/farmacia-clinica/3166-oms-alerta-em-2050-superbacterias-matarao-uma-pessoa-a-cada-tres-segundos>

3. Leituras complementares:

- Dawkins, R. O gene egoísta. São Paulo: Companhia das letras, 2007.
- Margulis, L.; Sagan, D. Microcosmos: Quatro Bilhões de Anos de Evolução de nossos ancestrais microbianos. São Paulo: Cultrix, 2011.
- Mayr, E. Biologia, ciência única. São Paulo: Companhia das Letras, 2005.
- Meyer, D.; El-Hani, C. N. Evolução: o sentido da biologia. São Paulo: Editora UNESP, 2005.

Agradecimentos. Francisco Ângelo Coutinho é grato ao CNPq pela bolsa de produtividade e pelo apoio financeiro.

Referências bibliográficas

- Acar, J. F., & Moulin, G. (2012). Antimicrobial resistance: a complex issue. *Revue Scientifique Et Technique De L Office International Des Epizooties*, 31 (1), 23-31.
- Angus, I. (2019). Superbugs in the Anthropocene. A profit-driven plague. *Monthly Review*, 71(2). https://doi.org/10.14452/MR-071-02-2019-06_1. Recuperado de <https://monthlyreview.org/2019/06/01/superbugs-in-the-anthropocene/>

- Artaxo, P. (2014). Uma nova era geológica em nosso planeta: o Antropoceno? *Revista Usp*, 103, 13-24.
- Bapteste, E., & Dupré, J. (2013). Towards a processual microbial ontology. *Biology & Philosophy*, 28, 379-404.
- CDC. (2013). *Antibiotic resistance threats in the United States*. Recuperado de <https://www.cdc.gov/drugresistance/pdf/ar-threats-2013-508.pdf>
- CDC. (2019). *Antibiotic resistance threats in the United States*. Recuperado de <https://www.cdc.gov/drugresistance/pdf/threats-report/2019-ar-threats-report-508.pdf>
- ComCiência. (2018). Resistência a antibióticos e as superbactérias. Recuperado de <https://www.comciencia.br/resistencia-antibioticos-e-as-superbacterias/>
- Costerton, J. W., Geesey, G. G., and Cheng, K. J. (1978). How bacteria stick. *Scientific American*, 238, 86-95.
- Coutinho, F. Â.; Martins, R. P.; Viana, G. M. (2011). A árvore da vida. *Ciência Hoje*, 48 (283), 76-78.
- Coutinho, F. Â.; Matos, S. Á.; Silva, F. A. R. (2014a). Mapeando as relações entre ciência, tecnologia, sociedade e ambiente (CTSA) por meio dos bioobjetos. *Revista da SBEnBio*, 7, 1943-1952.
- Daley, B. (2015). How antibiotic pollution of waterways creates superbugs. Recuperado de <https://theconversation.com/how-antibiotic-pollution-of-waterways-creates-superbugs-38046>

Darwin, C. (1859). Sobre a origem das espécies por meio da seleção natural, ou a preservação de raças favorecidas na luta pela vida. 1. Ed. Londres: John Murray.

Freepik. (2022). Recuperado de <https://www.freepik.com/home>

Gokkaya, Z. (2014). Yetişkin eğitiminde yeni bir yaklaşım: Oyunlaştırma. *Hasan Ali Yücel Eğitim Fakültesi Dergisi*, 11-1(21), 71-84. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/305109037_Yetiskin_Egitiminde_Yeni_Bir_Yaklasim_Oyunlastirma

Gray, A., & Wenzel, M. (2020). Multitarget Approaches against Multiresistant Superbugs. *ACS Infectious Diseases*, 6, 1346-1365.

Harvard Medical School. (2021). *The Evolution of Bacteria on a “Mega-Plate” Petri Dish*. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=plVk4NVIUh8&t=0s>

Hillis, D. M., Zwickl, D., & Gutell, R. (2003). *Tree of Life*. Recuperado de <http://www.zo.utexas.edu/faculty/antisense/DownloadfilesToL.html>

Hug, L. A., Baker, B. J., Anantharaman, K., Brown, C. T., Probst, A. J., Castelle, C. J., Butterfield, C. N., HERNSDORF, A. W., AMANO, Y., ISE, K., SUZUKI, Y., DUDEK, N., RELMAN, D. A., FINSTAD, K. M., AMUNDSON, R., THOMAS, B. C., & BANFIELD, J. F. (2016). A new view of the tree of life. *Nature Microbiology*, 1, 1-6.

Hursen, C., e Bas, C. (2019). Use of Gamification Applications in Science Education. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, 14 (1), 4-23. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/330462182_Use_of_Gamification_Applications_in_Science_Education

- ICTQ. (2021). OMS alerta: Em 2050 superbactérias devem matar uma pessoa a cada três segundos. Recuperado de <https://ictq.com.br/farmacia-clinica/3166-oms-alerta-em-2050-superbacterias-matarao-uma-pessoa-a-cada-tres-segundos>
- INPRA. (2020). Saúde Única: uma abordagem fundamental. Recuperado de <https://inpra.com.br/post/42/>
- Kalogiannakis, M., Papadakis, S., e Zourmpakis, A. L. (2021). Gamification in Science Education. A Systematic Review of the Literature. *Education Sciences*, 11 (22), 1-36. Recuperado de <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1283113.pdf>
- Kapp, K. M. (2012). The Gamification of Learning and Instruction: Game-Based Methods and Strategies for Training and Education. *International Journal of Gaming and Computer-Mediated Simulations*, 4, 81-83.
- Klock, A. C. T., Ogawa, A. N., Gasparini, I., e Pimenta, M. S. (2018). Does Gamification Matter: A Systematic Mapping about the Evaluation of Gamification in Educational Environments. In *Proceedings of the ACM Symposium on Applied Computing*; Association for Computing Machinery: New York, NY, USA, 7, 2006-2012.
- Latour, B. (2012). *Reagregando o social: uma introdução à teoria do Ator-Rede*. Salvador-Bauru: EDUFBAEDUSC.
- Lowe, E. J. (2007). *The Four-Category Ontology: A Metaphysical Foundation for Natural Science*. New York, NY: Oxford University Press.
- Nogueira, T. (2017). A crise dos antibióticos. *Revista de Ciência Elementar*, 5 (1), 1-5.

Pedretti, E.; Nazir, J. (2011). Currents in STSE Education: Mapping a Complex Field, 40 Years On. *Science Education*, 95 (4), 601-626.

Phylogenetic Tree horizontal transfers. png. (2014). Recuperado de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:PhylogeneticTree_horizontal_transfers.png#file

Sailer, M., Hense, J.U., Mayr, S.K., e Mandl, H. (2017). How Gamification Motivates: An Experimental Study of the Effects of Specific Game Design Elements on Psychological Need Satisfaction. *Computers in Human Behavior*, 69, 371-380. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S074756321630855X>

Silva, S. E. M. (2019). Alternativas no combate a superbactérias. *Ciência Hoje*. Recuperado de <https://cienciahoje.org.br/artigo/alternativas-no-combate-a-superbacterias/>

Silva, L. O. P., Alves, E. A., e Nogueira, J. M. R. (2022). Consequências do uso indiscriminado de antimicrobianos durante a pandemia de COVID-19. *Brazilian Journal of Development*, 8 (2), 10381-10397.

UFMG. (2018). Resistência onipresente. Recuperado de <https://ufmg.br/comunicacao/publicacoes/boletim/educacao/se-m-o-vicio-na-memoria/resistencia-onipresente>

WHO. (2021). Antimicrobial resistance. Recuperado de <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/antimicrobial-resistance>

Woese, C. R., & Fox, G. E. (1977). Phylogenetic structure of the prokaryotic domain: The primary kingdoms. *Proceedings of the*

National Academy of Sciences of the United States of America,
74 (11), 5088-5090.

Zimmerling, E., Höllig, C.E., Sandner, P.G., Welp, I. M. (2019).
Exploring the Influence of Common Game Elements on
Ideation Output and Motivation. *Journal of Business Research*,
94, 302-312. Recuperado de
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S014829631830105X>

Apêndices

Apêndice 1 - Proposta de avaliação

Olá, querido(a) estudante!

Seja bem-vindo(a) a esta incrível aventura didática!

Juntos(as), iremos desvendar os mistérios da evolução microbiana!

Ficou interessado?

Então, vamos começar!!!

Instruções

Esse jogo contém 15 questões de múltipla escolha ou discursivas, organizadas em três tópicos: 1) Ciência-Tecnologia-Sociedade-Ambiente e a construção da “árvore da vida”; 2) A ontologia da evolução microbiana: um olhar sobre o mecanismo de transferência lateral de genes; 3) Ações antrópicas e a problemática da ocorrência de superbactérias.

Nas questões de múltipla escolha, você deve fazer a leitura atenta dos enunciados e assinalar apenas uma resposta (a que julgar correta), conforme os seus conhecimentos prévios e adquiridos em sala de aula sobre a ocorrência de **superbactérias** e, também, sobre a relação entre **Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente (CTSA)**.

Nas questões discursivas, você deve responder com tranquilidade, pois não há um limite de tempo para a elaboração das respostas. Procure se manifestar de forma clara, crítica e argumentativa, embasado (a) nas informações fornecidas no decorrer do jogo.

Fique atento aos “**feedbacks**” fornecidos após as questões, pois cada resposta tem um valor de pontuação (0 a 15 pontos). O desafio é você alcançar o maior número de pontos possível, pois quanto maior a pontuação alcançada, maior será a sua classificação na escala de nível CIENTISTA CTSA!

Ao final do jogo, o somatório da pontuação irá indicar se você está um Cientista CTSA “nível *hard*” (avançado), “nível *medium*” (médio) ou “nível *easy*” (simples); conforme o seu desempenho nas questões.

Mas, caso você ainda não esteja no “nível *hard*”, não se preocupe! Sugerimos, ao final do jogo, algumas leituras que irão te ajudar a aprofundar mais no tema!

Ciência-Tecnologia-Sociedade-Ambiente e a construção da “árvore da vida”

1. Em uma cidade urbanizada do Brasil, foi identificada a presença de superbactérias (bactérias resistentes a antimicrobianos) em corpos d'água. Você, enquanto um jovem cientista, tem a missão

de investigar e descobrir o que está provocando a ocorrência desse fenômeno.

() Primeira hipótese: a água residual liberada pelo hospital da cidade. (5 pts)

() Segunda hipótese: a água residual liberada por uma empresa que produz antibióticos. (5 pts)

() Terceira hipótese: a água residual liberada por residências e domicílios. (5 pts)

Feedback: Parabéns pela hipótese! Você já começa o jogo com 5 pontos!!!

2. Agora que você já tem a sua hipótese elaborada, precisará conhecer melhor essas superbactérias emergentes. Desse modo, o mapeamento genético será necessário, por meio do:

() Isolamento biológico, que consiste na introdução da amostra em um meio de cultura artificial, na tentativa de fazer os microrganismos crescerem e serem isolados. (3 pts)

() Estudo metagenômico, que possibilita estudar os genomas de microrganismos de um nicho ecológico, sem a necessidade de fazer culturas individuais. (5 pts)

Feedback: A metagenômica é mais eficaz do que a técnica de isolamento biológico, para investigar a prevalência de genes de resistência a antibióticos em uma amostra de água.

3. A imagem seguinte representa os três domínios da árvore da vida: Bacteria, Archaea e Eukarya. O que ela evidencia?

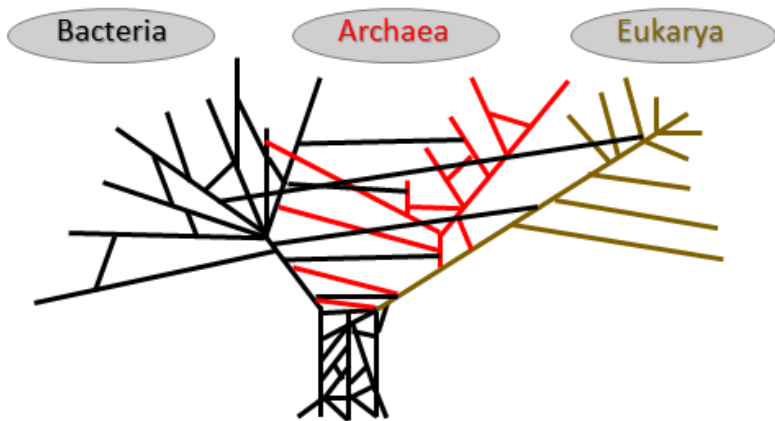


Figura 3.3: Fonte: Elaboração própria, (2021)

Baseada em

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:PhylogeneticTree_horizontal_transfers.png#file

- () A conectividade entre os domínios. (5 pts)
- () O domínio Bacteria é maior do que os outros. (5 pts)
- () Os domínios Bacteria e Archaea compreendem os procaríotos. (5 pts)
- () O domínio Eucarya é o mais recente na história evolutiva da vida. (5 pt)

Feedback: Todas as alternativas estão corretas. PARABÉNS!!!

Você ganhou mais 5 pontos!

A ontologia da evolução microbiana: um olhar sobre o mecanismo de transferência lateral de genes

4. O fluxo gênico ou transferência de genes entre os organismos vivos ocorre naturalmente no meio ambiente.

Sobre o tema, identifique a associação correta entre os conceitos:

(1) Transferência vertical (5 pts)

(2) Transferência lateral (5 pts)

() O DNA é transferido dos genitores para os descendentes ao longo das gerações. Ocorre por meio da reprodução.

() O DNA é transferido de uma espécie para outra não relacionada. É comum entre microrganismos, principalmente bactérias.

Feedback: Se você conseguiu fazer as associações corretas, PARABÉNS!!! Você ganhou 10 pontos!

5. Os três mecanismos mais comuns, utilizados por bactérias, para realizar a transferência lateral de genes são, **EXCETO:** (5 pts)

() Conjugação (0 pts)

() Transformação (0 pts)

() Transdução (0 pts)

() Divisão binária (5 pts)

Feedback: A divisão binária consiste no processo de transferência vertical de genes em bactérias, por meio da reprodução assexuada.

6. Sobre a transferência lateral de genes em bactérias, faça a associação correta entre o mecanismo evolutivo e o conceito relacionado:

(1) **Conjugação** - Troca de fragmentos de DNA, por meio de uma ponte citoplasmática que conecta duas bactérias: o *pilus*. (5 pts)

(2) **Transformação** - Absorção de fragmentos de DNA presentes no meio ambiente, por meio da abertura de poros na parede celular bacteriana. (5 pts)

(3) **Transdução** - Transferência de fragmentos de DNA, por meio de vírus que infectam bactérias (bacteriófagos ou fagos). (5 pts)

Feedback:

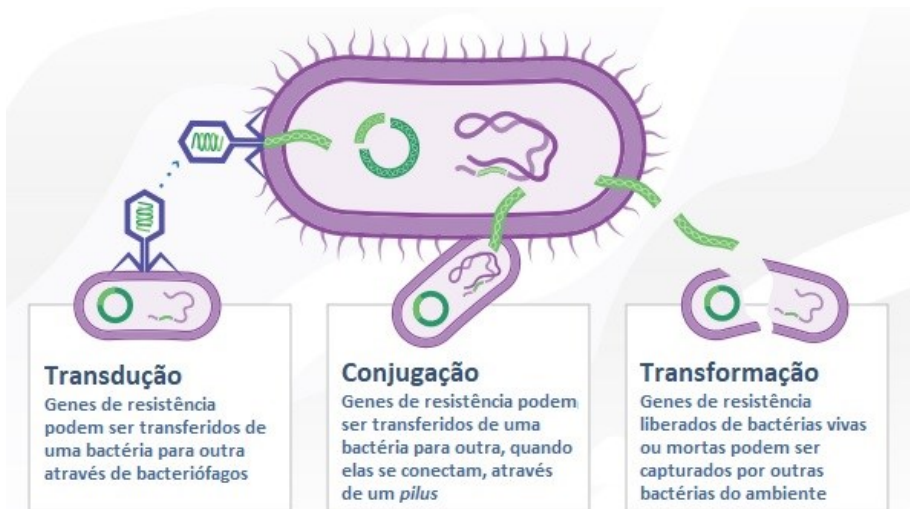


Figura 3.4: Feedback. Fonte: Adaptado de CDC (2019)

Ações antrópicas e a problemática da ocorrência de superbactérias

7. Como vimos, os mecanismos de recombinação genética permitem às bactérias (e outros procariontes) evoluir rapidamente.

Considerando que a **transferência lateral de genes** é um processo evolutivo microbiano que ocorre naturalmente no meio ambiente, você acredita que a ação humana (antrópica) também pode contribuir para esse evento?

() Sim (5 pts)

() Não (0 pts)

8. Se você considera que SIM, a ação humana pode contribuir para a transferência lateral de genes em bactérias, como isso ocorre?

Feedback: Se você respondeu que SIM, a ação humana pode contribuir para a ocorrência da transferência lateral de genes em bactérias: PARABÉNS! Você está avançando muito bem no jogo!!! E está próximo de descobrir qual pode ser a origem das superbactérias no corpo d'água da cidade...

9. Observe as seguintes notícias e responda: Qual é a problemática evidenciada?

Saúde

Número de superbactérias quase quadruplicou no Brasil durante pandemia

Números são do Laboratório de Pesquisa em Infecção Hospitalar do Instituto Oswaldo Cruz (IOC/Fiocruz). Longas internações pioraram cenário

<https://www.metropoles.com/brasil/saude-br/numero-de-superbacterias-quase-quadruplicou-no-brasil-durante-pandemia>

MUNDO

Poluição gerada por farmacêuticas fez crescer resistência a antibióticos

<https://epocanegocios.globo.com/Mundo/noticia/2017/04/poluicao-gerada-por-farmaceuticas-fez-crescer-resistencia-antibioticos.html>

Embalagens

Uso de isopor está gerando superbactérias, revela pesquisa

<https://www.ecycle.com.br/isopor-superbacterias/>

Home › Bem-estar

Seu sabonete bactericida está criando superbactérias

<https://hypescience.com/seu-sabonete-bactericida-esta-criando-superbacterias/>

Superbactérias e automedicação

<https://jus.com.br/artigos/72727/superbacterias-e-automedicacao>

Feedback: Se você respondeu que é a ocorrência de superbactérias (bactérias resistentes aos antimicrobianos), PARABÉNS! Você ganhou 5 pontos!!!

Por meio das notícias, você observou que diversas são as causas da ocorrência de superbactérias no ambiente. Portanto, se você assinalou a primeira hipótese (a água residual liberada pelo hospital da cidade), a segunda hipótese (a água residual liberada por uma empresa que produz antibióticos) ou a terceira hipótese (a água residual liberada por residências e domicílios), você ACERTOU!

Inclusive essas três hipóteses podem ocorrer simultaneamente...

Para aprofundarmos mais nesse assunto, vamos para a próxima questão!!!

10. Em sua opinião, quais são os principais atores envolvidos nesse fenômeno?

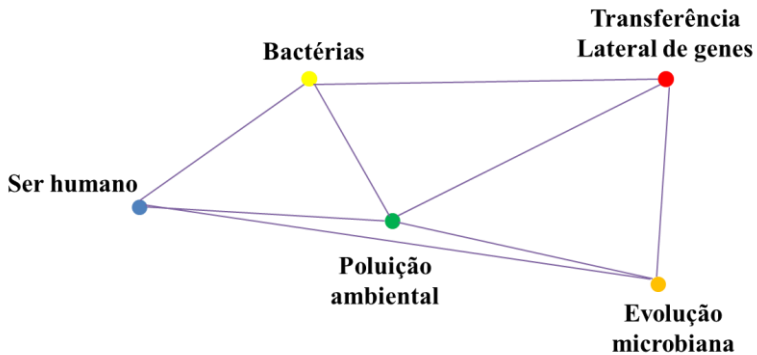
Feedback: Se você mencionou atores humanos e não humanos (objetos, processos), PARABÉNS! Você ganhou 5 pontos!!!

11. A partir da identificação dos atores humanos e não humanos relacionados à ocorrência de superbactérias, é possível traçar uma rede de relações?

() Sim (5 pts)

() Não (0 pts)

12. Observe com atenção a imagem abaixo, relacionada à ocorrência de superbactérias.



Fonte: Elaboração própria (2021)

Com base nos seus conhecimentos e, após a análise da imagem, quais atores você gostaria de acrescentar ou excluir da rede de relações representada?

Feedback: Se a rede modificada por você mostra a associação entre atores humanos e não humanos: PARABÉNS, você ganhou 5 pontos!!!

13. Em sua opinião, a rede modificada demonstra as relações entre Ciência-Tecnologia-Sociedade-Ambiente?

Sim (5 pts)

Não (0 pts)

14. Se a sua rede NÃO demonstra as relações entre Ciência-Tecnologia-Sociedade-Ambiente, o que poderia ser incluído?

Feedback: Como vimos, a problemática da ocorrência de superbactérias no ambiente é um fenômeno complexo e multifacetado, pois a troca de genes de multirresistência e evolução em bactérias pode ter causas naturais ou antrópicas. Se você NÃO excluiu o mecanismo de transferência lateral de genes da sua rede de relações: PARABÉNS, você ganhou 10 pontos!!!

15. Diante do que você aprendeu ao longo da atividade, quais ações poderiam ser adotadas para minimizar a ocorrência de superbactérias no meio ambiente?

Feedback: Se você conseguiu associar a poluição ambiental com a ocorrência de superbactérias no meio ambiente: PARABÉNS, você se destacou na missão e ganhou mais 15 pontos!!!

- Agora, some os pontos alcançados para ver em que nível de cientista CTSA você se encontra:

Cientista CTSA - nível hard	70 - 100 pts
Cientista CTSA - nível medium	36 - 69 pts
Cientista CTSA - nível easy	0 - 35 pts

- Se você se interessou e quer aprofundar o seu conhecimento sobre o tema, sugerimos a leitura integral das notícias disponibilizadas na questão 9 e, também, dos seguintes textos de divulgação científica:
 - A árvore da vida (Coutinho et al., 2011)

https://www.academia.edu/4453954/A_%C3%A1rvore_da_vida

- Resistência a antibióticos e as superbactérias (ComCiência, 2018)

<https://www.comciencia.br/resistencia-antibioticos-e-as-superbacterias/>

- Resistência onipresente (UFMG, 2018)

<https://ufmg.br/comunicacao/publicacoes/boletim/edicao/sem-o-vicio-na-memoria/resistencia-onipresente>

- OMS alerta: Em 2050 superbactérias devem matar uma pessoa a cada três segundos (ICTQ, 2021)

<https://ictq.com.br/farmacia-clinica/3166-oms-alerta-em-2050-superbacterias-matarao-uma-pessoa-a-cada-tres-segundos>

**4. AS MULHERES EVOLUEM?
UMA NOVA PROPOSTA PARA
SE ESTUDAR A EVOLUÇÃO
HUMANA NO ENSINO DE
BIOLOGIA**

.....
**DEBORA DO PRADO LISBOA
FÁBIO AUGUSTO RODRIGUES E SILVA**

Introdução

Vamos começar o nosso texto com uma provocação, uma problematização que orientou as nossas escolhas para a construção do capítulo e da nossa proposta de atividade: “As mulheres evoluem?”. Essa provocação/problematização se fundamenta em uma reflexão acerca da ausência da abordagem de gênero em textos e outros materiais didáticos e também em aulas sobre evolução. Na literatura em ensino de ciências e biologia, já encontramos alguns estudos que evidenciam o caráter heteronormativo e patriarcal associado aos organismos humanos femininos, restringindo-os aos conteúdos associados a reprodução (Silva & Coutinho, 2016; Oliveira & Heerdt, 2021).

No ambiente escolar, são mobilizados textos, discursos e práticas que atualizam a configuração do que se imagina ser o Corpo Feminino sempre associado a atributos da vida doméstica e a fragilidade, já o Corpo Masculino é do ser forte, caçador e guerreiro, com mais exigências físicas e intelectuais (Heerdt et al., 2018). Muitas dessas distinções se baseiam em pretensas diferenças biológicas entre homens e mulheres que seriam determinadas geneticamente e/ou fisiologicamente, algo que tem sido contraposto pelos estudos feministas que descontroem as narrativas hegemônicas e excludentes, que ignoram ou deslegitimam as mais diferentes

experiências humanas; principalmente àquelas que se distanciam da pretensa “normalidade” ou “naturalidade” associada à produção do conhecimento científico.

Os estudos feministas têm contribuído para o desenvolvimento de outra epistemologia, - uma epistemologia feminista – que defende a necessidade de se estabelecer questionamentos críticos aos padrões hegemônicos e privilegiados impostos pela heterossexualidade masculina branca e de classe média ocidental quanto a produção, legitimação e apresentação do conhecimento científico (Code, 2000; Code, 2003).

Nesse sentido, temos mais um campo teórico que nos oferece subsídios para as nossas ações fundamentadas na abordagem CTSA, ou seja, mais elementos para se atualizar as nossas concepções e práticas educativas que se preocupam em desenvolver uma análise mais sociológica da produção do conhecimento e, com objetivos de se estabelecer uma ação mais efetiva e mais política por direitos em busca de uma sociedade mais justa e mais participativa na resolução dos problemas que enfrentamos atualmente (Pedretti & Nazir, 2011). Problemas que revelam as contradições presentes nas diferentes interpretações do movimento CTSA, que muitas vezes, podem gerar estratégias educacionais que podem:

- 1) ensinar a ciência como conhecimento objetivo e neutro; 2) ensinar a Ciência e a Tecnologia como desenvolvimento inexorável da humanidade; 3)

romantizar ou estereotipar a História da Ciência; 4) estabelecer uma concepção estreita de racionalidade, tratando assimetricamente o modo de raciocinar de outros povos; e, 5) estabelecer visões universalistas de valores (sejam morais ou epistemológicos) (Coutinho & Matos & Silva, 2014, p. 2179).

A epistemologia feminista ainda pode contribuir com conhecimentos e metodologias para enriquecer o nosso repertório trazendo elementos para superar uma lógica essencialista e que busca se apartar das condições imediatas da construção dos fatos científicos (Latour, 1994). Uma estratégia dos “Modernos” de se purificar os diferentes híbridos que criamos, novas entidades que tornam impossível distinguir o social do natural. Ao não se limitar as relações entre homens e mulheres, a epistemologia feminista tem contribuído para questionar valores sexistas, racistas e de classe, o que propicia uma ciência mais autotransparente e responsável (Friedman, 2001).

Nesse sentido, consideramos que estamos em condições de propor atividades didáticas, para alunos do Ensino Médio, que buscam explicitar como fatores associados a visões deterministas sobre sexo e gênero estabelecem “realidades¹¹” que são tecidas em

11 Sem pretensões de esgotar a discussão, destacamos que determinados estudos de ciência têm evidenciado como processos de produção e distribuição do conhecimento têm a capacidade gerativa de produzir novas entidades e relações no mundo (Rúbio & Baert, 2012). A abordagem epistemológica, com suas escolhas metodológicas, ao mesmo tempo que nos dá acesso ao objeto, também o

fatores e práticas sociais no processo de construção da ciência e da identidade dos humanos. Uma oportunidade para questionar como as questões que envolvem problemas de pesquisa, escolha de sujeitos ou objetos, de referencial teóricos e metodológicos, a interpretação e divulgação dos resultados foram desenvolvidos a partir de uma rede sociotécnica que mobilizava uma realidade que exclui o feminino e impõe uma realidade dicotômica sobre gênero, inclusive quando estudamos a evolução humana.

Delineando a controvérsia sobre o papel de homens e mulheres na evolução humana

A abordagem da epistemologia feminista reconhece a importância da Ciência em seu papel de propor leis gerais sobre a natureza, que podem ser testadas empiricamente. Entretanto, ao mesmo tempo, essa epistemologia desnaturaliza as conceituações científicas, pois também estas estão imbricadas por valores sexistas, racistas, etc. (Silva & Coutinho, 2016; Vale, 2015; Oliveira & Heerd, 2021). Essa abordagem também denuncia a opressão de gênero, como também outras formas de subjugação.

altera. Podem ter efeitos performativos sobre as realidades que estudamos (Mol, 2003), e como consequência podem criar “realidades colaterais”, aquelas que são criadas ao acaso, sem uma intenção prévia (Law, 2012).

Autoras feministas, como por exemplo, Lauretis (1996) e Louro (2015), fazem a distinção entre sexo e gênero por acreditarem que essa correspondência dicotômica configura um determinismo biológico atribuindo que as diferenças entre as pessoas se dão, quase que estritamente, às diferenças biológicas. Assim, as características biológicas que constituem uma pessoa como a fêmea da espécie também determinam sua essência e papéis sociais. Estas definições, por sua vez, configuram determinadas realidades que atribuem ao gênero masculino, o protagonismo, algo bem presente na forma como narramos e registramos a história da espécie humana.

Outra contribuição importante para a nossa discussão é o conceito de realidade colateral da Teoria Ator Rede, segundo o qual a ciência traz uma compreensão sobre os fenômenos, explicando-os e descrevendo-os, mas também atribui significados e materialidade aos fatos constatados. Dessa forma, realidades podem ser performadas a partir da atividade científica e de suas interações com diferentes atores humanos e não-humanos. Essa noção nos impõe a tarefa de, ao pesquisar, estarmos atentos aos significados que atribuímos ao fenômeno e nos atentarmos de quanto a realidade constatada é ao mesmo tempo, nos percebida, mas também construída em relações politizadas. Afinal, como o real está sujeito a condições e escolhas, o caráter político precisa ser evidenciado, o que nos propicia identificar

diferentes realidades modeladas e/ou configuradas pelas mais diferentes redes sociotécnicas (Silva & Coutinho, 2016).

Nesse sentido, um fenômeno pode ser compreendido como um processo fluido, temporalmente desigual e como um resultado de uma construção social influenciada pela linguagem, cognições e ações dos atores e suas interações. O termo “construção” refere-se à ideia de que um objeto, e até mesmo os sujeitos, não possuem uma identidade fixa ou dada, mas algo que gradualmente se tornará. Depois de construídos, estarão estabilizados, embora possam ser destruídos e reconstruídos. Nesse entendimento as realidades são frutos de uma contínua prática artesanal em que participam combinação entre pessoas, objetos, técnicas, textos, arranjos e fenômenos. A realidade não é algo dado, mas algo que é formado nas práticas cotidianas, assim, diferentes versões com diferentes atores são performados, mas nem sempre o que se estabiliza é emancipador. Se isto nos traz uma sensação de instabilidade, por outro nos traz a possibilidade de mudança por meio de uma ação mais politizada e interessada dos seres humanos.

Um dos exemplos dessa performatividade e do qual tratamos aqui é o papel atribuído a homens e mulheres na evolução humana segundo a arqueologia tradicional e a feminista. A perspectiva tradicional afirma existir uma divisão por gênero rígida nas atividades exercidas e seus respectivos papéis na pré-história. Por sua vez, a

filosofia feminista tem desenvolvido uma outra interpretação ao duvidar dos significados que a arqueologia tradicional atribuiu aos objetos arqueológicos e a ação dos atores humanos em torno destes objetos (Vale, 2015).

Em nossa reflexão, nos perguntamos se foram os objetos da arqueologia que contribuíram para essa interpretação. O que aconteceu no período em que os animais deixaram de ser usados somente para alimentação, mas também para transporte e tração? Que atores desenvolveram as novas tecnologias como uso do arado, carro de boi e a metalurgia? De quem eram as mãos que ergueram as muralhas e manusearam os arcos e flechas? Quais são as pistas históricas sobre esses eventos que foram deixadas no e pelo tempo? O que os objetos arqueológicos estão nos falando sobre o passado?

Para analisar essas realidades é preciso compreender como os actantes se comportam, agem e se relacionam, pois da relação entre os actantes vem a configuração do fenômeno, do social, do cultural, do histórico. A arqueologia tradicional performa uma realidade em que homens e mulheres tinham papéis sociais e funções bem demarcadas, o que acaba reforçando a ideia de uma sociedade patriarcal.

Na arqueologia tradicional, as funções entre homens e mulheres são distintas, sendo que as atividades essenciais são atribuídas aos homens e as secundárias, as mulheres (Shiebinger,

2001, Vale, 2015). As tarefas atribuídas aos homens são, também, descritas de forma mais detalhada e com maior ênfase reforçando o protagonismo masculino:

Como referimos, os papéis dados pela Arqueologia tradicional à mulher no passado relacionar-se-iam com o espaço doméstico, com tarefas que se confundem com o passar do tempo, com a vida quotidiana, da qual muitas vezes não fica nada de tangível. Os objetos ligados a estas tarefas apontariam para a permanência, para formas estáveis, sobretudo se atendermos a conjuntos cerâmicos (tipos de formas e de organizações decorativas), ou por exemplo a moinhos manuais (moventes e dormentes sobretudo em granito). Estas atividades desenrolar-se-iam no espaço doméstico, dentro de casa ou em redor da unidade familiar, mas geralmente intramuros. Os objetos que denunciam mudanças tecnológicas ou que indicam transformações nos processos socioeconómicos são normalmente associadas a elementos masculinos (metais, utensilagem lítica associada sobretudo à caça, à guerra e à prática da agricultura) (Vale, 2015, p. 10).

A arqueologia tradicional atribui os objetos do ambiente doméstico como cerâmicas e decorativos ao uso da mulher e aqueles ligados a guerra e utensílios da agricultura, mais refinados e que indicariam avanço tecnológico, aos homens. Com isto eles contribuem para uma compreensão da performance de determinados papéis distintos a homens e mulheres. Essa interpretação constitui uma representação feminina e de seu papel na contemporaneidade que, por sua vez, ampara direitos, papéis, e até mesmo, de forma perversa, justifica a violência contra as mulheres

(Vale, 2015). A interpretação das distinções de gênero se baseou menos nos fatos em si, e mais na interpretação das atividades que os objetos suscitavam. Isto nos mostra a característica de multiplicidade das formas de organizar fatos, atores e realidades. O conhecimento se configura em uma coreografia que enatam as diferenças, as separações e as qualidades que definem o papel do homem e da mulher na evolução humana (Vale, 2015; Oliveira & Heerdt, 2021).

Historicamente, essa consolidação da diferença dos sexos e dos gêneros ocorreu a partir dos séculos XVIII e XIX. A diferença performou desigualdades, na medida em que os corpos masculinos eram tidos como superiores ao feminino, inclusive a inteligência da mulher era questionada. Obviamente, é irrefutável afirmar que as mulheres são diferentes dos homens. Entretanto, a dessemelhança é colocada em termos de hierarquia, algo que foi reforçado pela Ciência, principalmente pela Biologia (Silva & Coutinho, 2016).

Louro (2015, p.44) indaga “É possível separar cultura e biologia?” A questão que se coloca é que a Biologia, como Ciência, sustentou a constituição de desigualdades entre homens e mulheres, entre homens e homens e entre mulheres e mulheres, com suas teorias sobre distinções físicas, psíquicas ou comportamentais; para indicar diferentes habilidades sociais, talentos ou aptidões. Entretanto, são teorias limitadas, isto porque, as pessoas são, ao mesmo tempo, homens ou mulheres, de determinada etnia, classe,

sexualidade, nacionalidade. Enfatizamos que o discurso da desigualdade entre homens e mulheres, foi alimentado pela religião e a ciência, sendo atribuído à mulher um papel passivo e maternal. Darwin e a teoria da evolução, por exemplo, alimentou a ideia de inferioridade das mulheres. “Os homens são simplesmente mais inteligentes”, argumentou o naturalista. Um argumento pensado a partir da ideia de que ao longo dos milênios os seus cérebros tornaram-se superiores devido à necessidade de serem caçadores e coletores eficazes (Oliveira & Heerdt, 2021).

Destaca-se também que a representação das mulheres na nossa história mais antiga é ambígua. Ela é representada ora como deusa, ora como mãe, ligadas a fertilidade da terra e do ventre, mas passivas na construção do passado. Nessa realidade por meio de antigas narrativas, se depreende que as mulheres são frágeis e os homens fisicamente superiores. O corpo da mulher ligado ao sagrado. Para Vale (2015)

Sugerir que as representações do corpo do sexo feminino estão conectadas com a Deusa Mãe denuncia a repetição de uma narrativa que liga coisas e pessoas a funções determinadas, cosendo a explicação com pontos tão apertados que não deixa espaços para que outras relações, outros materiais, outras interpretações possam entrar na discussão.

As estatuetas ou placas de imagens antropomórficas eram relacionados na arqueologia tradicional a divindades femininas.

Entretanto, a arqueologia contemporânea argumenta que essa foi uma interpretação precipitada que encerrou uma discussão sobre a pré-história, sem ao menos começá-la. As figuras de Deusa mãe, por exemplo, levaram a construções estereotipadas sobre a mulher e sua função reprodutiva na sociedade primitiva. Estudos recentes interpretam de outra forma, considerando que as figuras não são nem masculinas e nem femininas, mas representam o humano. Dessa forma, podemos duvidar desta realidade performada pelos objetos e materiais arqueológicos e o olhar daqueles que fizeram tais descobertas (Vale, 2015).

A interpretação da mulher como sagrada e a sua associação ao trabalho doméstico, foi algo estabilizado pelo pensamento burguês. Foi, portanto, criado, performado. Há uma controvérsia sobre a naturalização de atividades a mulheres e homens. Um dos argumentos são os estudos em tribos, uma delas brasileira, em que mulheres e homens compartilham as estruturas de poder dentro desse coletivo.

Shiebinger (2001) questiona estes papéis distintos atribuídos a homens e mulheres, naturalizados como sendo um destino. As críticas feministas levantam importantes questionamentos sobre categorias do pensamento ocidental. A hipótese da mulher coletora desafia estruturas teóricas e colocam nas mãos das mulheres os artefatos que engendraram a evolução humana.

A teoria evolucionária era nitidamente enfocada sobre machos, dando a impressão de que os homens "evoluíram pela caça enquanto mulheres sedentárias seguiam, de perto, coletando e dando à luz". Trazer para o lar os animais selvagens abatidos tornou-se o "comportamento do senhor" da espécie humana. O homem, ativo e agressivamente, impulsionou para frente a evolução; apenas o que Darwin chamou de "transmissão igual de caracteres" permitia que características selecionadas para machos fossem transmitidas para fêmeas. As mulheres pré-históricas foram transformadas em criadas invisíveis para os homens (Shiebinger, 2001, p.258)

Outras hipóteses foram desenhadas inclusive a de que as atividades que homens e mulheres praticavam estavam mais ligadas a idade e estágio reprodutivo do que necessariamente ao gênero (Shiebinger, 2001).

Gero questiona dois aspectos dessa história do "homem o fabricante de ferramentas". Primeiro, ela salienta que não há prova de que mulheres não fabricavam essas altamente valorizadas ferramentas de pedra. Entre alguns povos, tais como os que ocuparam o sítio Huaricoto nas montanhas do Peru entre 200 e 600 A.D., há provas de que elas as fabricavam. A associação entre homens e produção de ferramentas, argumenta Gero, baseia-se em suposições sobre divisões de trabalho entre os sexos, que são recentes e específicos da cultura europeia e americana (Gero, 1985 apud Shiebinger, 2001, p. 266)

É na constituição das redes de poder, com suas trocas e interações que constituem sua atuação, é que são instituídas e nomeadas as diferenças e desigualdades. Observamos que a atuação das mulheres na pré-história contempla diferentes vertentes e a

compreensão e explicação das particularidades desse fenômeno, são marcadas, como toda área do conhecimento científico, por suposições ontológicas e epistemológicas distintas. De um lado, observa-se uma predominância de estudos fundamentados em concepções rígidas dos papéis atribuídos a homens e mulheres na evolução humana, dando ao homem um papel de protagonismo. De outro lado a perspectiva feminista, flexibiliza os papéis exercidos por homens, mulheres e objetos. Essa abordagem nos dá a oportunidade de conceber a pré-história estruturada por agentes humanos e não humanos em interações sociais pensadas para além da interpretação moderna dos papéis modernos atribuídos a homens e mulheres.

Em suma, a arqueologia tradicional ao atribuir determinados papéis a objetos e humanos estabilizou determinado conhecimento, entretanto a perspectiva feminista desafia tais definições iniciando um novo processo de reorientação que tem ordenado e estabilizado outras possibilidades de realidades tanto da pré-história, quanto na contemporaneidade, na medida em que duvida e questiona a constituição das diferenças sexuais, que tratadas em termos de oposição (natureza ou cultura, biologia ou socialização) configurou com a ajuda da arqueologia tradicional a ideia de uma anatomia destino (Lauertis, 1996).

Esta lógica tem estabelecido como base para a relação masculino-feminino a oposição entre dominante e dominado, não

havendo espaço para outras possibilidades de interação. Desconstruir esta dicotomia abre possibilidades para a inclusão de outras formas de masculinidade e feminilidade que se constituem socialmente. (Louro, 2015). Como afirma Teresa de Lauretis (1996, p. 209), "a construção do gênero também se faz por meio de sua desconstrução".

A proposta educacional

Em nossa busca por uma metodologia diferenciada para trabalhar o tema “O papel das mulheres no processo evolutivo da espécie humana” nos valem de uma questão problematizadora, que pode ser considerada uma questão sociocientífica (QSC): “Qual a contribuição das mulheres na evolução humana?”. As QSC são consideradas estratégias para se inserir assuntos que oportunizam ambientes de aprendizagem fundamentados na abordagem CTSA, e que, portanto, incluem o estudo de fenômenos e processos tecnocientíficos estabelecendo relações com os aspectos da ética, da política, da economia, etc (Conrado & Nunes-Neto & El-Hani, 2019). Como exposto anteriormente, mais do que trazer elementos da paleontologia e da arqueologia para se favorecer maior conhecimento sobre o nosso processo biológico de evolução, pretendemos favorecer a discussão sobre a quem interessa

negligenciar ou subsumir a ação das fêmeas nas comunidades primitivas de nossos ancestrais.

Destaca-se que no Ensino Médio, a BNCC propõe que a evolução humana seja discutida na unidade Vida, Terra e Universo. Essa unidade é um desdobramento das temáticas Vida e Evolução e Evolução e Universo, que foram trabalhadas no currículo do Ensino Médio. Portanto, o que se propõe é um aprofundamento da questão para que os estudantes compreendam a complexidade dos processos, dinâmicas e interações que deram origem e evolução da vida (BRASIL, 2018). O documento destaca, também, a necessidade de explicitar os contextos em que a evolução humana se constitui. As práticas educativas devem instigar o estudante a “identificar problemas, formular questões, identificar informações ou variáveis relevantes, propor e testar hipóteses, elaborar argumentos e explicações” (BRASIL, 2018).

Considerando estas premissas e compreendendo que o processo educativo tem um caráter político que envolve fazer escolhas que favorecem ou desfavorecem determinados entendimentos ou grupos. E, ainda, de que a ideia de que a educação está a serviço da humanidade é muito abstrata, pois não existem seres humanos em geral, mas pessoas em determinadas conjunções sociais, culturais e econômicas. Portanto, a educação pode favorecer um grupo, enquanto desfavorece a outro.

Nesse sentido, propomos uma prática educativa que, primeiramente, tenha um caráter criativo, mas também preocupado com o desenvolvimento da capacidade de reflexão e argumentação, dando centralidade a atuação do estudante. A atividade é a criação de um podcast¹² sobre a evolução humana. Entretanto, acreditamos que o formato de pesquisa e de socialização dos resultados dessa intervenção pode assumir outros formatos de acordo com a disponibilidade de recursos da escola. Para o desenvolvimento dessa proposta, nos inspiramos na proposta de Conrado, Nunes-Neto e El-Hani (2019) que propõe uma estratégia de cinco fases: 1) Fase de Preparo; 2) Fase de modelagem; 3) Fase de prática guiada; 4) Fase de prática independente; 5) Fase de síntese.

Os objetivos educativos da BNCC identificados para a essa atividade de trabalho com uma QSC são:

- (EM13CNT201) Analisar e utilizar modelos científicos, propostos em diferentes épocas e culturas para avaliar distintas explicações sobre o surgimento e a evolução da Vida, da Terra e do Universo.
- (EM13CNT305) Investigar e discutir o uso indevido de conhecimentos das Ciências da Natureza na justificativa de

12 Arquivo de áudio em formato MP3 que pode ser disponibilizado em várias plataformas, dentre elas, o Spotfy.

processos de discriminação, segregação e privação de direitos individuais e coletivos para promover a equidade e o respeito à diversidade.

Estratégia de cinco fases: O papel das mulheres no processo evolutivo da espécie humana

Fase de preparo: nesse momento é importante preparar para dar suporte aos alunos e alunas, portanto é uma fase de reconhecimento sobre o que alunos(as) sabem sobre o papel do questionamento, da lógica e da argumentação para o desenvolvimento dos conhecimentos, principalmente do desenvolvimento científico. Para essa fase, os(as) professores(as) podem oferecer atividades que propiciem discussões acerca das principais controvérsias mobilizadas pelo tema “Evolução Humana”. A apresentação de vídeos e a leitura de textos de divulgação científica pode ajudar a compreender nuances das pesquisas científicas e do trabalho de alguns(as) pesquisadores (as).

Fase de modelagem: essa etapa tem por finalidade familiarizar os (as) alunos(as) com a abordagem e propiciar o seu engajamento com o tema e as atividades. A ideia é propiciar elementos que possam evidenciar aos(às) estudantes o que se esperam deles, uma ação mais

independente e autônoma, que será essencial para as próximas etapas. Uma sugestão que fazemos é trazer um caso baseado em QSC, que acompanhado por uma discussão pode oportunizar e mobilizar conhecimentos, habilidades, valores e atitudes para a resolução de QSC.

Uma possibilidade é apresentar o caso da Luzia, um dos mais importantes fósseis encontrados no território brasileiro.

Na noite do dia 02 de setembro de 2018, o Brasil enfrentou mais um de seus desastres, o incêndio no Museu Nacional. Essa tragédia destruiu quase todo o acervo histórico e científico que foi reunido durante 200 anos. Entre as peças que foram atingidas destaca-se o fóssil do crânio e a reconstrução facial de Luzia, uma mulher que viveu há mais 11 mil anos. Esse fóssil foi descoberto em uma gruta na região de Lagoa Santa, em Minas Gerais, em 1975. O crânio permitiu identificar que Luzia tinha em torno de 20 anos, quando morreu, tinha 1 metro e meio de altura e traços negroides, com nariz largo e olhos arredondados. Após o incêndio, grande parte do crânio foi recuperado, o que para os estudiosos é extremamente importante, pois Luzia traz novas e intrigantes questões para os interessados em entender a ocupação humana das Américas. E caso você seja um dos interessados em estudo da civilização, já pode começar a pensar, por que a datação do período em que viveu Luzia e os seus traços negroides trazem de novidade para os estudos da ocupação das Américas?

Fase de prática guiada: é o momento de oferecer maior apoio e orientação por parte dos docentes aos seus alunos e alunas. Para isto, a discussão em grupos é essencial para favorecer o diálogo entre

docentes e discentes. Uma estratégia didática para estimular a discussão na roda de conversa, que consiste em uma atividade dialógica orientada para o desenvolvimento de reflexões compartilhadas a partir de um tema que pode exigir diferentes olhares, perspectivas e vivências (Bertoldo, 2018)

Para o desenvolvimento do nosso tema, sugerimos um texto de apoio como <https://veja.abril.com.br/ciencia/o-recem-descoberto-papel-das-mulheres-na-pre-historia/amp/>, e ainda imagens de livros didáticos sobre evolução humana que associam mulheres à apenas atividades relacionadas ao doméstico. Esses materiais devem propiciar o questionamento central acerca do papel das mulheres no processo evolutivo humano. Destacamos algumas questões que poderiam ser utilizadas na atividade:

1. Quais poderiam ser os papéis desempenhados pelas mulheres nas antigas comunidades humanas?
2. Por que as mulheres são tão pouco consideradas no processo evolutivo humano?
3. A quem interessa invisibilizar a contribuição das mulheres na evolução humana?
4. Como as pesquisadoras e pesquisadores podem contribuir para trazer novos conhecimentos sobre evolução humana e o papel das mulheres nesse processo?

Fase de prática independente: como se pretende que os alunos e alunas estejam mais cientes das discussões e dos problemas que perseguimos, é momento de propor o nosso trabalho mais criativo: uma proposta de roteiro para *podcast* ou de uma reportagem a partir da questão: “As mulheres evoluem?”

Algumas recomendações importantes para desenvolver o roteiro de um episódio de um *podcast* ou outro meio de comunicação:

- a) Estabelecer os objetivos do seu *podcast* para nortear o planejamento do trabalho de produção da mídia. Esse procedimento ajudará a manter um discurso coeso e na escolha de elementos textuais e sonoros que podem compor o episódio;
- b) Definir o tema e os subtemas que serão abordados. Lembrem-se, o tema principal é “O papel das mulheres na evolução humana”, entretanto cada grupo pode desenvolver esse assunto a partir de diferentes fontes de pesquisa e da sua própria interpretação desses materiais.
- c) Determinar o público-alvo: pensando que o episódio será voltado para adolescentes e jovens que estudam no ensino médio, isto pode ajudar no desenvolvimento de um texto e dos recursos sonoros que serão interessante para atrair esse público.

- d) Construir o roteiro: defina os principais tópicos que serão abordados no episódio. A cada tópico escreva um pequeno texto que será narrado e identifique quais podem ser os momentos que podem ser incluídas trilhas ou efeitos sonoros.

Para gravar um *podcast*, podem ser utilizados *softwares* gratuitos como o Anchor e Spreaker que são muito recomendados, além de existirem vários vídeos no Youtube que ajudam na utilização desses programas de produção de *podcast*.

Fase de síntese: nesse momento o(a) professor(a) pode assumir uma posição de controle a partir das propostas dos alunos e alunas. Ele(a) poderá se dedicar a orientações, identificando desvios, mal-entendidos, omissões, extrapolações que estão presentes nos roteiros apresentados. A partir dessa avaliação ampla, os alunos e alunas podem se dedicar a socialização dos seus produtos finais, por exemplo, com a criação de um canal em alguma plataforma digital para divulgar os conhecimentos que foram produzidos.

Referências bibliográficas

- Bertoldo, T. A. T. (2018). Roda de conversa como estratégia promotora de capacidades de pensamento crítico.
- Brasil. (2018). Ministério da Educação. *Base Nacional Comum Curricular*. Brasília. Disponível em: <<http://basenacionalcomum.mec.gov.br/>>. Acesso em: 15 mai. de 2022.
- Code, L. (2000). Epistemology. In Jaggar, A. M. e Young, I. M. A companion to feminist philosophy (173-184). Malden: Blackwell.
- Code, L. (2003). Epistemology/feminist. In Code, L. Encyclopedia of feminist theories (170-173). London: Routledge.
- Conrado, D. M., Nunes-Neto, N., & El-Hani, C. (2019). Como abordar questões sociocientíficas na sala de aula: a estratégia didática de cinco fases para o ensino de ciências. *Indagatio Didactica*, 11(2), 915-928.
- Coutinho, F. A., Matos, S. Á., & Silva, F. A. R. (2014). Aporias dentro do movimento ciência, tecnologia, sociedade e ambiente. Apontamentos para uma solução. *Revista Sociedade Brasileira do Ensino de Biologia-SBEnBio*, São Paulo, (7).
- Grasswick, H. (2000) Feminist Social Epistemology. Stanford Encyclopedia of Philosophy. Recuperado de <http://plato.stanford.edu/entries/feminist-social-epistemology/#Epilgn>.
- Heerdt, B., & de Batista, I.L. (2017). Representações sociais de ciência e gênero no ensino de Ciências. *Práxis Educativa*, 12(3), 995-1012.

- Heerdt, B., dos Santos, A. P. O., De Oliveira, A. D. C. B., Ferreira, F. M., dos Anjos, M. D. A. C., Swiech, M. J., & Banckes, T. (2018). Gênero no Ensino de Ciências Publicações em Periódicos no Brasil: o estado do conhecimento. *Revista Brasileira de Educação em Ciências e Educação Matemática*, 2(2), 217-241.
- Latour, B. (1994). *Jamais fomos modernos*. Editora 34.
- Lauretis, T. (1996). A tecnologia do gênero. In: LAURETIS, T., & HOLLANDA, H. (1996). *Tendências e impasses: O feminismo como crítica da modernidade*.
- Law, J. (2012). Collateral realities. In: RUBIO, F. D. and BAERT, P. *The politics of knowledge*, pp. 156-178. London: Routledge.
- Louro, G. L. (2015). *Gênero, sexualidade e educação*. Petrópolis: Vozes.
- Mol, A. (2003) *The Body Multiple: Ontology in Medical Practice*. Durham: Duke University Press.
- Oliveira, A. D. C. B., & Heerdt, B. (2021). Discursos em relação a homens e mulheres da pré-história: possíveis implicações no ensino de Biologia. *Amazônia: Revista de Educação em Ciências e Matemáticas*, 17(38), 71-87.
- Pedretti, E., & Nazir, J. (2011). Currents in STSE education: Mapping a complex field, 40 years on. *Science education*, 95(4), 601-626.
- Rubio, F. D. and Baert, P. 2012. Politics of Knowledge. An introduction. In: RUBIO, F. D. and BAERT, P. *The politics of knowledge*. p. 1-10. London: Routledge.
- Schiebinger, L. (2001). O feminismo mudou a ciência. *Bauru: Edusc*, 32.
- Silva, F. A.R, & Coutinho, F. Â. (2016). Realidades colaterais e a produção da ignorância em livros didáticos de biologia: um

estudo sobre os hormônios e a questão de gênero. *Investigações em Ensino de Ciências*, 21(3), 176-194.

Tuana, N., & Sullivan, S. (2006). Introduction: Feminist Epistemologies of Ignorance". *Hypatia: A Journal of Feminist Philosophy*, 21 (3), 1-3. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1527-2001.2006.tb01109.x>

Vale, A. (2015). A Mulher e a Pré-história. Alguns apontamentos para questionar a tradição e a tradução da mulher-mãe e mulher-deusa na Arqueologia Pré-histórica. *Conimbriga*, 54, 5-25.

**5. A SOCIOMATERIALIDADE
DA EVOLUÇÃO HUMANA:
UMA ABORDAGEM SOBRE O
USO DO CARVÃO A PARTIR
DA TEORIA ATOR-REDE**

.....

**IGOR MATEUS SOUSA SANTANA
RAÍ LEONARDO DE JESUS SANTOS
FRANCISCO ÂNGELO COUTINHO**

Introdução

A teoria da evolução apresentada por Charles Darwin no final do século XIX, que posteriormente recebeu contribuições do campo da genética, é a base teórica para o estudo e compreensão dos fenômenos biológicos (Mayr, 2005). Apesar de sua importância para as ciências biológicas, essa teoria enfrenta diversos problemas de entendimento por grande parte dos cidadãos leigos e até por professores de Ciências e Biologia (Silva, 2015). Essa situação pode ser evidenciada em vários momentos como, por exemplo, com as teorias criadas em volta da pandemia causada pelo SARS-CoV-2, quando as ideias sobre surgimento de novas variantes e seleção de caracteres vantajosos em uma população foram deixadas de lado e substituídas por explicações como a de que o vírus é uma arma biológica criada para fins políticos. Esta falta de entendimento tem se mostrado danosa para a sociedade, já que movimentos negacionistas têm usado essa fragilidade de conceitos para reforçar suas explicações, atrapalhando a melhor resolução dos problemas associados à pandemia de COVID-19 (Barcelos et al, 2021). Assim, a busca de um entendimento melhor dos processos evolutivos pode ser uma forma importante de melhorar a relação das pessoas com a ciência.

Tendo em vista essa necessidade, esta sequência didática se propõe a desenvolver aulas que possam apresentar a teoria da

evolução tendo como foco a abordagem Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente (CTSA). Procurando trazer novos enfoques a abordagem CTSA, foram incorporadas as algumas contribuições da Teoria Ator Rede (TAR) (Latour, 2012) que nortearam essa proposta educacional que se dedica ao reconhecimento e identificação da importância dos agentes humanos e não humanos, tendo a noção da relevância dos objetos para os eventos relacionados à evolução humana, neste caso, principalmente o carvão.

Ao longo do tempo, as sociedades humanas passaram por inúmeras transformações na forma pela qual sustentam suas populações. Tais transformações estão intimamente associadas às mudanças no fornecimento de energia para o suprimento de necessidades nutritivas e desempenho do trabalho, sendo a última delas decorrente da Primeira Revolução Industrial, período marcado pelo intenso desenvolvimento social, econômico e tecnológico, dependente, em grande parte, dos estoques de carvão (Wrigley, 2013). Neste período, o carvão passou a ser intensivamente explorado como fonte de energia para as máquinas, estando intimamente ligado à indústria siderúrgica e à introdução da máquina a vapor. No entanto, anteriormente, seu uso já estava amplamente disseminado na região da Grã-Bretanha, onde estava associado tanto ao contexto doméstico, servindo para o aquecimento dos lares, quanto industrial,

na fabricação de produtos como tijolos, vidros, cerâmicas etc. (Mokyr, 2009).

Com a Revolução Industrial, o desenvolvimento tecnológico começou a ser impulsionado, intensificando, desta forma, o uso do carvão. Assim, as cidades localizadas próximas às minas de carvão, principalmente na Grã-Bretanha, às quais contavam com abundante estoque deste material, experienciaram amplo desenvolvimento econômico e crescimento dos centros urbanos, o que proporcionou um desenvolvimento próspero nos séculos seguintes (Fernihough & O'Rourke, 2021).

Em contrapartida ao desenvolvimento social, econômico e tecnológico, decorrente da Revolução Industrial e fomentado principalmente pelo uso do carvão, foi criado um enorme abismo entre as camadas mais ricas e pobres da sociedade. A partir de então, começou a ser observado o aumento da força de trabalho em condições perigosas e insalubres, além do aumento exorbitante na jornada de trabalho, chegando, em alguns casos, a 16 horas diárias de trabalho (Mohajan, 2019). Além do mais, a intensificação no uso do carvão exacerbou os impactos que as atividades humanas têm nos processos físicos do planeta, sendo considerada por alguns cientistas como responsável pelo advento de uma nova época geológica, denominada Antropoceno. Com as transformações decorrentes da emergência dessa nova época, torna-se necessário repensar os

conteúdos, propósitos e relações da Educação em Ciências (Gilbert, 2016).

Desta forma, assentados na Teoria Ator-Rede, o carvão pode ser usado como elemento central para exemplificar como agentes não-humanos podem influenciar de forma decisiva nos rumos que a humanidade pode tomar e estimular uma reflexão sobre as transformações experienciadas até o momento e seus impactos na sociedade.

Objetivos

- Estabelecer relações entre a história da evolução humana e os atores não-humanos sob a perspectiva do uso do carvão;
- Reconhecer atores não-humanos envolvidos no desenvolvimento socioeconômico dos países, à luz do desenvolvimento da Grã-Bretanha no período pós Primeira-Revolução Industrial;
- Demonstrar aplicações do uso do carvão no dia a dia, associando-as aos problemas ambientais atuais e propondo alternativas para seu uso.

Habilidades da BNCC

(EM13CNT106) Avaliar, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais, tecnologias e possíveis soluções para as demandas que envolvem a geração, o transporte, a distribuição e o

consumo de energia elétrica, considerando a disponibilidade de recursos, a eficiência energética, a relação custo/benefício, as características geográficas e ambientais, a produção de resíduos e os impactos socioambientais e culturais.

(EM13CNT208) Aplicar os princípios da evolução biológica para analisar a história humana, considerando sua origem, diversificação, dispersão pelo planeta e diferentes formas de interação com a natureza, valorizando e respeitando a diversidade étnica e cultural humana.

(EM13CNT309) Analisar questões socioambientais, políticas e econômicas relativas à dependência do mundo atual em relação aos recursos não renováveis e discutir a necessidade de introdução de alternativas e novas tecnologias energéticas e de materiais, comparando diferentes tipos de motores e processos de produção de novos materiais.

Materiais necessários

- Questionário;
- Caderno, lápis, borracha e caneta;
- Computador;
- Datashow;
- Caixa de som;
- Slide.

Esquema da SD

Quadro 5.1: Esquema da sequência didática “A sociomaterialidade da evolução humana: Uma abordagem sobre o uso do carvão a partir da Teoria Ator-Rede”.

Momento	Título do Momento	Aula	Duração	Atividades	Tema e conceitos
1	Conhecimentos prévios	1	50min	Aplicação de questionário para avaliação dos conhecimentos prévios dos alunos e aula expositiva dialogada	Formação química, distribuição e uso do carvão, relação com o desenvolvimento socioeconômico da Grã-Bretanha no período pós Primeira Revolução Industrial

2	A correlação entre a Teoria da Seleção Natural e o uso do carvão a partir da Primeira Revolução Industrial	2, 3, 4 e 5	Quatro aulas de 50min	Aula expositiva, abordagem argumentativa, debates e atividades de pesquisa	Disponibilidade de recursos, competição, seleção natural, produtos desenvolvidos a partir do uso do carvão presentes nas sociedades humanas atuais e seus impactos, transformações sociais
3	Avaliação	Ao longo da sequência	Ao longo da sequência	Discussões, pesquisas e esquemas	Produtos, impactos e transformações decorrentes do uso do carvão

Etapas da Sequência Didática

Momento 1: Conhecimentos prévios

Avaliação dos conhecimentos prévios analisando até que ponto os alunos sabem sobre o uso do carvão e seu impacto nas sociedades humanas para, a partir de então, apresentar características como formação química e distribuição desse material.

Duração:

Uma aula de cinquenta minutos

Aula 01: Formação química, distribuição e uso do carvão

- **Metodologia a ser utilizada na aula:**

Neste primeiro momento é sugerido que o(a) professor(a) aplique um questionário para avaliar os conhecimentos prévios dos alunos com o intuito de identificar possíveis defasagens e, a partir de então, dar continuidade à Sequência Didática. O questionário deve ser respondido pelos alunos em conjunto, de forma a socializar o conhecimento. Para tanto, é necessário separar a turma em grupos. É recomendável que o questionário não conte como nota para os alunos e que o(a) professor(a) deixe isso explícito. Dessa forma,

espera-se que os alunos forneçam respostas genuínas que permitam avaliar seu nível de conhecimento sobre o assunto. A seguir estão listados exemplos de perguntas que podem constituir o questionário:

- 1) Como ocorre o surgimento de novas espécies?
- 2) Do que é constituído o carvão e quais são suas possibilidades de uso?
- 3) Quais fatores foram importantes para o desenvolvimento da humanidade até os dias atuais?
- 4) O que foi a Revolução Industrial? Como esse evento histórico se relaciona ao uso do carvão e quais foram seus impactos na sociedade?
- 5) Quais são possíveis explicações para a existência de países mais economicamente desenvolvidos que outros?

Após os(as) alunos(as) responderem o questionário, o(a) professor(a) deve estimular a discussão das respostas por toda a turma, de forma a tornar a construção do conhecimento ainda mais conjunta. Na sequência, o(a) professor(a) terá tempo para uma breve apresentação sobre a formação química do carvão, advinda do acúmulo de matéria vegetal não decomposta do período carbonífero, e sua distribuição contextualizada ao desenvolvimento da Grã-Bretanha no período pós Primeira Revolução Industrial.

Momento 2: A correlação entre a Teoria da Seleção Natural e o uso do carvão a partir da Primeira Revolução Industrial

Descrição:

A Primeira Revolução Industrial foi um período marcado por intenso desenvolvimento social, econômico e tecnológico, dependente, em grande parte, dos estoques de carvão. Como defendido por diversos autores (Wrigley, 2013; Fernihough & O'Rourke, 2021), as cidades localizadas próximas às minas de carvão, principalmente na Grã-Bretanha, experienciaram extenso desenvolvimento, o que mostra uma relação direta com a grande disponibilidade desse material. Dessa forma, este momento objetiva apresentar conceitos relacionados à Teoria da Evolução e sua correlação com o uso do carvão a partir da Primeira Revolução Industrial, associados ao desenvolvimento das sociedades humanas.

Duração:

Quatro aulas de cinquenta minutos

Aula 02: Recursos disponíveis às sociedades humanas no período anterior à Primeira Revolução Industrial

Duração da aula:

Uma aula de 50 minutos

- **Metodologia a ser utilizada na aula:**

Aula expositiva com a apresentação do contexto social anterior à Primeira Revolução Industrial e dos motivos que levaram a Grã-Bretanha a ser pioneira na exploração do carvão. Como material de apoio para a aula, sugerimos o vídeo “*How coal made us rich - and why it needs to go*” - é possível inserir a legenda em português clicando em “detalhes” (ícone representado por uma engrenagem) e depois em “legendas” - disponibilizado no YouTube pelo canal “DW Planet A” (<https://www.youtube.com/watch?v=42yF2t7xMHY>) e o trabalho de Oliveira (2017): “Revolução Industrial na Inglaterra: Um Novo Cenário na Idade Moderna”. Neste momento o professor pode falar sobre competição e disponibilidade de recursos para abordar as transformações que as sociedades humanas passaram ao longo do tempo. Os humanos, inicialmente, competiam com outros animais pelo alimento disponível no ambiente e, para tanto, dependiam da força física. A primeira grande mudança foi o domínio do fogo, o que proporcionou maior ocupação territorial e variedade de alimentos disponíveis. A segunda grande mudança está associada à Revolução Agrícola, que proporcionou aos humanos o domínio das terras e tornou possível o cultivo de alimento em extensas áreas sem que fosse necessário competir com outros animais. Nesse momento, as populações humanas adquiriram um grau de estabilidade que

permitiu a elas passar por outra grande transformação, a Primeira Revolução Industrial. Tal revolução se tornou possível devido aos estoques de carvão, que passaram a proporcionar energia para as máquinas, estando intimamente associados à indústria siderúrgica e à introdução da máquina a vapor. Os impactos da Primeira Revolução Industrial, no entanto, não se limitaram apenas ao desenvolvimento daquela época, sendo responsáveis por grandes mudanças ainda nas sociedades atuais. Entretanto, nota-se uma desigualdade no grau de desenvolvimento das sociedades, originada antes mesmo da Primeira Revolução Industrial. Naquele período, o uso do carvão já estava amplamente disseminado na Grã-Bretanha (Mokyr, 2009). É possível observar, portanto, que a disponibilidade de grande estoque de carvão na Grã-Bretanha conferiu à região uma grande vantagem sobre as demais, possibilitando intenso desenvolvimento socioeconômico. De forma análoga, a Teoria da Seleção Natural mostra que a disponibilidade de recursos e a presença de determinadas características se constituem como uma grande vantagem para determinada espécie que, na luta pela existência, compete com outra espécie desprovida dos mesmos recursos e características. Como atividade extraclasse, os alunos podem ser distribuídos em grupos, ficando cada um deles responsável por pesquisar o contexto social de um determinado país, tal como foi apresentado o contexto da Grã-Bretanha durante a aula. Sugestões

de países que podem nortear as pesquisas dos grupos são França, Alemanha, Estados Unidos, Brasil e Japão. A atividade em questão pode contribuir para reforçar aos(as) alunos(as) a existência de recursos na Grã-Bretanha que permitiram seu amplo desenvolvimento socioeconômico, ao mesmo tempo que reforça a ausência de determinados recursos nos demais países.

Aula 03: Produtos desenvolvidos a partir do uso do carvão presentes nas sociedades humanas atuais

Duração:

Uma aula de cinquenta minutos

- **Metodologia a ser utilizada na aula**

A aula pode ser iniciada por meio da abordagem argumentativa, ficando o(a) professor(a) responsável por conduzir os(as) alunos(as) à discussão sobre os produtos desenvolvidos a partir do uso do carvão presentes nas sociedades humanas atuais. Exemplos de tais produtos são os motores de combustão interna usados atualmente nos automóveis, sucessores das máquinas térmicas que, primeiramente, eram impulsionadas pela queima do carvão; e as usinas termelétricas, que produzem energia elétrica a partir do calor gerado pela queima de combustíveis fósseis, como, por exemplo, o

carvão mineral (Khan Academy, 2019). Uma possível pergunta que pode fomentar o debate é: “O uso do carvão, intensificado a partir da Primeira Revolução Industrial, trouxe algum benefício para as sociedades atuais?”. A partir de então, o(a) professor(a) deve estimular os(as) alunos(as) a apresentar argumentos que sustentem sua resposta. O objetivo de tal prática é contribuir para a compreensão dos alunos sobre as aplicações do uso do carvão no dia a dia, o que, posteriormente, pode ser reforçado com uma pesquisa em grupo consistindo na elaboração de uma linha do tempo das máquinas térmicas. O(a) professor(a) pode também instigar os alunos a refletir e pesquisar sobre o impacto que o acionamento das usinas termelétricas, que produzem energia elétrica a partir do calor gerado pela queima de carvão, tem na sociedade durante períodos de escassez de água como, por exemplo, o aumento nas tarifas de energia elétrica.

Aula 04: Impactos ambientais atuais associados ao uso do carvão

Duração:

Uma aula de cinquenta minutos

- **Metodologia a ser utilizada na aula:**

Após discutir os produtos desenvolvidos a partir do uso do carvão presentes nas sociedades humanas atuais, o(a) professor(a) pode fazer conexões entre o uso de tais produtos e seus impactos ambientais. Para estimular a participação dos(as) alunos(as) o(a) professor(a) pode apresentar a seguinte notícia, disponibilizada no site das Nações Unidas: “COP26: Dia da Energia aumenta o coro pelo fim do uso do carvão, gás e petróleo” e questionar aos(as) alunos(as) quais são os possíveis motivos que justificam esse movimento. A partir de então, é sugerido que o(a) professor(a) faça uma apresentação sobre os impactos ambientais resultantes do uso do carvão, como a liberação de gases poluentes que, por consequência, contribuem para o aquecimento global e podem resultar na extinção de diversas espécies. O(a) professor(a) pode também aproveitar o contexto para reforçar o conteúdo sobre seleção natural, trabalhado na aula 2, abordando, desta vez, o impacto que as alterações ambientais podem ter na evolução das espécies e apresentando conceitos como mutação, migração e deriva genética.

O(a) professor(a) pode, ainda, trabalhar com os alunos uma reportagem relacionada à matriz energética brasileira, tal como a disponibilizada no site da Empresa de Pesquisa Energética: “Matriz Energética e Elétrica”, a qual destaca que a média do consumo de

energia proveniente de fontes renováveis no Brasil é maior que a média mundial. A partir de então, o(a) professor(a) pode estimular a discussão entre os(as) alunos(as) sobre os motivos que fazem a matriz energética brasileira ser mais renovável que a mundial.

Por fim, o(a) professor(a) pode trabalhar com os alunos a seguinte notícia: “Países do G7 prometem eliminar progressivamente o uso de carvão”. Em um encontro realizado em março de 2022, os países membros do G7, grupo das sete democracias mais ricas do mundo, concordaram em eliminar o uso do carvão como fonte energética. Essa medida visa atenuar os efeitos das mudanças climáticas, causadas sobretudo com a alta emissão de gás carbônico. Apesar de não ter sido colocada uma data específica para a realização deste ato, a discussão já é um avanço importante, pois o carvão historicamente foi uma fonte de energia importante para esses países. Após apresentar a notícia, o(a) professor(a) pode instigar os(as) alunos(as) a propor alternativas ao uso do carvão. O(a) professor(a) pode também solicitar aos(as) alunos(as) que procurem acordos como esse firmados anteriormente e quais foram suas consequências, propondo, ainda, que os(as) alunos(as) discutam formas de garantir a implementação das medidas combinadas outrora.

Aula 05: Transformações sociais

Duração da aula

Uma aula de cinquenta minutos

- **Metodologia a ser utilizada na aula:**

Neste momento final da sequência didática o(a) professor(a) deve ir além e, para isso, é recomendada a comunicação com professores(as) de outras áreas do conhecimento, como história, geografia e sociologia. É sugerido que o(a) professor(a) aborde as transformações sociais resultantes da Primeira Revolução Industrial, impulsionada pelo uso do carvão, e suas implicações nas sociedades atuais. Como mencionado por Mohajan (2019), em contrapartida ao desenvolvimento alcançado, foi criado um enorme abismo entre as camadas mais ricas e pobres da sociedade. A partir de então, começou a ser observado o aumento da força de trabalho em condições perigosas e insalubres, além do aumento exorbitante na jornada de trabalho, chegando, em alguns casos, a 16 horas diárias de trabalho. Após esse momento, com base em todo o conteúdo trabalhado ao longo da sequência didática e na pesquisa solicitada ao fim da última aula, o(a) professor(a) deve apresentar a seguinte situação para que os alunos reflitam e discutam: “Devemos continuar utilizando o carvão como fonte de energia? Quais alternativas ao seu

uso são possíveis?”. Depois, o(a) professor(a) deve retomar o questionário inicial aplicado na primeira aula e discutir as questões com os(as) alunos(as), estando atento às possíveis alterações nas respostas. Por fim, o(a) professor(a) deve solicitar que os(as) alunos(as) montem um esquema mostrando as conexões entre o carvão e o conteúdo aprendido ao longo da sequência didática.

Momento 3: Avaliação

A avaliação pode ser realizada com base nas análises de participação nas discussões, realização das pesquisas propostas e com base na entrega do esquema mostrando as conexões entre o carvão e o conteúdo aprendido ao longo da sequência didática. Esse momento, portanto, não deve constar como uma aula separada.

Materiais de apoio e complementares:

DW Planet A. How coal made us rich - and why it needs to go.
Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=42yF2t7xMHY>.
Acesso em: 15 mar. 2022.

Empresa de Pesquisa Energética. Matriz Energética e Elétrica.
Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em: 23 mai. 2022.

G1. Países do G7 prometem eliminar progressivamente o uso de carvão. Disponível em: <https://g1.globo.com/meio-ambiente/noticia/2022/05/27/paises-do-g7-prometem-eliminar-progressivamente-o-uso-de-carvao.ghtml>. Acesso em: 03 jun. 2022.

Nações Unidas. COP26: Dia da Energia aumenta o coro pelo fim do uso de carvão, gás e petróleo. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2021/11/1769372>. Acesso em: 30 abr. 2022.

Oliveira, R. M. (2017). Revolução Industrial na Inglaterra: Um Novo Cenário na Idade Moderna. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, Edição 07, Ano 02, Vol. 01. pp 89-116. ISSN:2448-0959

Agradecimentos. Francisco Ângelo Coutinho é grato ao CNPq pela bolsa de produtividade e pelo apoio financeiro. Igor Mateus Sousa Santana é grato ao CNPq pela bolsa de iniciação científica. Raí Leonardo de Jesus Santos é grato à FAPEMIG pela bolsa de iniciação científica.

Referências bibliográficas

- Barcelos, T. N, Muniz, L. N, Dantas D. M, Cotrim Junior, D.F, Cavalcante, J. R, & Faerstein, E. (2021). Análise de fake news veiculadas durante a pandemia de COVID-19 no Brasil. *Rev Panam Salud Publica.*, 05:e65
- Coutinho, F. A.; Matos, S. A.; Silva, F. A. R. (2014). Mapeando as relações entre Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente (CTSA) por meio dos bio-objetos. *Revista da Associação Brasileira de Ensino de Biologia*, 7, 1943-1952.
- Fenwick, T. (2011). *Emerging approaches in educational research: tracing the socio-material*. London: Routledge.
- Fernihough, A.; & O'Rourke, K. H. (2021). Coal and the European industrial revolution. *The Economic Journal*, 131(635), 1135-1149.
- Gilbert, J. (2016). Transforming science education for the Anthropocene – is it possible? *Research in Science Education*, 46, 187-201.
- Khan Academy. (2019). Máquinas e combustíveis. Disponível em: <https://pt.khanacademy.org/science/7-ano/desenvolvimento-tecnologico/as-maquinas-termicas/a/maquinas-e-combustiveis>. Acesso em: 30 abr. 2022.
- Latour, B. (2012). *Reagregando o social: uma introdução à Teoria Ator-Rede*. Salvador: Edufba.
- Silva, H. M. (2015). *Professores de Biologia e Ensino de Evolução: Uma perspectiva comparativa em países com contraste de relação entre Estado e Igreja na América Latina*. (Tese de doutorado). Belo Horizonte, Faculdade de Educação da UFMG.
- Mayr, E. (2005). *Biologia, ciência única*. Editora Companhia das Letras.

- Mohajan, H. (2019). *The first industrial revolution: Creation of a new global human era.*
- Mokyr, J. (2009). *The Enlightened economy: An economic history of Britain 1700-1850.* Yale University Press.
- Wrigley, E. A. (2013). Energy and the English industrial revolution. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 371(1986), 20110568.

**6. O QUE É SER HUMANO?
COMPREENDENDO A
EVOLUÇÃO HUMANA SOB
UMA PERSPECTIVA ATOR-
REDE**



ASHTARI MOTA PIANCASTELLI

Introdução

Pedretti e Nazir (2011) nos chamam a atenção de que existem trabalhos inspirados na abordagem CTSA que se fundamentam na história da Ciências. Esses trabalhos ressaltam que a história da Ciências pode nos trazer elementos para superar visões estereotipadas acerca do processo de construção dos fatos científicos. Sim, construção! Quando nos dedicamos a leitura da análise sociológica proposta por Latour e Woolgar (1997) podemos nos deparar com os intensos processos de negociação que são engendrados e que permitem que os objetos, instrumentos e sujeitos articulados em interações cada mais estreitas falem do e sobre o mundo. Para trabalhar a partir de um tema quente presente na história das ciências, trazemos para essa proposta de sequência didática: a evolução dos humanos, e uma problematização, afinal: o que é ser humano?

A evolução dos humanos tem sido discutida de forma darwiniana desde que Charles Darwin publicou seu livro “A Descendência do Homem e a Seleção em Relação ao Sexo” em 1871, quando ele oficialmente incluiu o *Homo sapiens* como mais uma das espécies sob influência da seleção natural (Darwin, 1871; Di Mare, 2002; Ridley, 2009). Desde então, muitas interpretações errôneas

acerca da evolução humana surgiram, dentre elas podemos citar a evolução linear e o *design* inteligente (Gould, 1990; Ridley, 2009).

A primeira interpretação sugere que os fósseis de homínídeos encontrados se referem a ancestrais humanos e que a evolução humana ocorreu de forma progressiva a partir delas, resultando em uma escala evolutiva na qual o *Homo sapiens* é a espécie “mais evoluída” (Gould, 1990). Já a segunda sugere que há uma tendência evolutiva pela qual as características encontradas no *Homo sapiens*, como a postura ereta e o crânio abaulado são o ápice evolutivo humano e que este resultado ocorreu com um propósito pré-definido (Ridley, 2009). Ambas as interpretações podem ocorrer em concomitância, tendo em vista que não são excludentes. Além disso, tanto o *design* inteligente quanto a evolução linear possuem influências do antropocentrismo, que coloca o ser humano como uma espécie privilegiada, seja por motivos religiosos ou filosóficos (Andrews *et al* 2011).

O pensamento linear da evolução já estava presente na teoria evolutiva de Lamarck, na qual se propunha que uma espécie originava outra por meio da descendência com transmissão dos caracteres adquiridos via uso e desuso (Di Mare, 2002). Ao originar uma espécie nova a antiga deixaria de existir, pois as modificações adquiridas pelo uso e desuso são irreversíveis, o que torna esse modelo de evolução linear, visto que uma espécie surge diretamente de outra. Além disso,

outro fator que ajudou a propagar o princípio da linearidade foi a escola gradista. Essa escola, que teve seu auge de atuação no final do século XX, agrupava os organismos em grupos, chamados grados, que representam o mesmo estágio evolutivo e hierarquizava os grados de forma que os grados mais basais eram menos evoluídos que os mais apicais (Amorim, 2002).

Dessa forma, o gradismo teve seu auge juntamente com a descoberta de fósseis humanos importantes, como o *H. rudolfensis*, *H. ergaster*, *H. gautengensis*, entre outros (Wood & Richmond, 2000). A escola gradista foi a responsável por ter feito as primeiras reconstruções da evolução humana, o que influenciou na criação da icnografia da “marcha do progresso” (Gould, 1990; Santos *et al.* 2019).

Por conta desse histórico e por ser um exemplo mais próximo a nós, a evolução humana se torna um tema que engloba os principais conceitos da teoria neodarwinista (Araújo *et al.* 2017). Esse tema permite trabalhar conceitos fundamentais da teoria evolucionista, que os alunos possuem dificuldade em compreender, como “adaptação”, “ancestralidade”, “descendência com modificação”, de forma mais situada, o que poderia auxiliar na aprendizagem dos conceitos (Valença & Falcão, 2012).

Objetivos

- Revisar e mobilizar os conceitos evolutivos usando a evolução humana como um exemplo;
- Construir hipóteses e desenvolver o posicionamento crítico sobre os conceitos;
- Promover o pensamento crítico nos alunos por meio de discussões em sala de aula;
- Promover a participação dos discentes por meio das atividades propostas.

Materiais necessários

Para implementar esta sequência didática é aconselhável o uso de:

- Computador ou celular com acesso à internet para pesquisa e realização de atividades;
- Projetor de slides;
- Quadro escolar (físico ou virtual);
- Sala de aula (física ou virtual);
- E-mails dos alunos (ou moodle) para contato e entrega de atividades;
- Materiais de apoio propostos nessa sequência didática.

Esquema da sequência didática

Quadro 6.1: Esquema da sequência didática O QUE É SER HUMANO? Compreendendo a evolução humana sob uma perspectiva Ator-rede.

Momento	Título do momento	Aula	Duração	Atividades	Temas e conceitos das aulas
1	Introduzindo a situação problema.	Aula 1: Levantamento de conhecimentos prévios; Aula 2: conhecendo as espécies de hominídeos.	Duas aulas de 50 minutos.	Aula 1: Discussão da atividade “o que é humano?” Aula 2: Discussão da atividade “evolução humana” e “características”	Grupos taxonômicos; espécie; gênero; família; ordem; nome popular; subespécie; classificação biológica; diversidade; variabilidade genética; linhagens; mutação; anatomia; caracteres morfológicos; cultura; hereditariedade; dispersão

Momento	Título do momento	Aula	Duração	Atividades	Temas e conceitos das aulas
2	Levantando controvérsias	Aula 3: De onde vieram os humanos?	Uma aula de 50 minutos	“Roteiro Futurama” e discussão da filogenia dos primatas	Evolução; ancestralidade; anagênese; cladogênese; táxon; descendência; extinção; adaptação; filogenia; criacionismo
3	Identificando a rede	Aulas 4 e 5: Júri simulado	Duas aulas de 50 minutos (de preferência geminada)	Júri simulado	Antropologia, sistema judicial, humano (definição), legislação.

Momento	Título do momento	Aula	Duração	Atividades	Temas e conceitos das aulas
4	Compreendendo as traduções	Aula 6: discussão dos conceitos de “ser humano”	Uma aula de 50 minutos	“Definição de ser humano”	Ser humano, grupo taxonômico, filosofia, nomenclatura.

Etapas da Sequência Didática

Momento 1: Introduzindo a situação problema

Este momento é dedicado à introdução da situação problema “o que é humano”, por meio de atividades que irão levantar o conhecimento prévio dos (as) discentes sobre o assunto e estimular reflexões acerca das controvérsias envolvendo este tema.

Duração:

Duas aulas de cinquenta minutos.

Aula 1: Levantamento de conhecimentos prévios

Duração da aula

Uma aula de cinquenta minutos.

- **Metodologia a ser utilizada na aula:**

Nesta aula será feita a atividade “o que é humano?” (material de apoio 1), composta por quatro exercícios que visam expor o que os (as) alunos (as) compreendem como características humanas e fomentar o questionamento: quais são as características dos humanos? Nós recomendamos deixar os (as) alunos (as) fazerem o exercício em sala e reservar um tempo para discussão após terem

terminado de responder. Além disso, recomenda-se que o (a) professor (a) faça perguntas no momento de discussão que elucidem a situação problema, como: quais características vocês relacionaram com humano? O que é humano para vocês?

O primeiro exercício apresenta uma imagem de um esqueleto de um gorila-do-oeste (*Gorilla gorilla*) (imagem 1 do exercício) e de um esqueleto humano (*Homo sapiens*) (imagem 2 do exercício) e pede os (as) alunos (as) para inferir com qual dos dois os esqueletos das alternativas possuem parentesco mais próximo. Os grupos taxonômicos dos esqueletos foram ocultados propositalmente para que os alunos se atentem apenas as características dos esqueletos. A alternativa “a” se refere ao esqueleto de um Neanderthal (*Homo neanderthalensis*), a “b” de um *Australopithecus* conhecido como “Little foot” e a alternativa “c” se trata de um *Australopithecus sediba*. Desta forma, todas as alternativas são filogeneticamente mais próximas do *H. sapiens* (imagem 2 do exercício) e o gorila possui parentesco igual à todas as alternativas (Baum, 2005).

É esperado que os (as) alunos (as) considerem a alternativa “b” como sendo mais próximo de “1” e fiquem na dúvida em relação ao parentesco de “c”, tendo em vista que as proporções do esqueleto “b” sejam mais semelhantes a de “1” e considerando que “c” apresenta características intermediárias. Assim, aconselha-se aos (às) docentes que neste momento perguntem aos (as) alunos (as) os

motivos que conduziram às respostas e que aproveitem este momento para explicar que o grupo *Australopithecus* possui grande diversidade morfológica que permeia entre características encontradas em primatas não-humanos e aquelas encontradas nos humanos.

Já no exercício 3 é feita uma proposta semelhante ao exercício 1, porém ela pede para dizer se os crânios possuem parentesco próximo ou não da imagem de referência. A imagem de referência é de um *Australopithecus africanus*, a alternativa “a” é um *Ardipithecus ramidus*, o “b” é um *Homo rhondesiensis*, o “c” é um *Australopithecus afarensis* e a alternativa “d” trata-se de um *Homo antecessor*. Assim, a alternativa “c” é a que possui parentesco mais próximo da referência, seguidos por “b” e “d”, que por serem do gênero *Homo* são grupos irmãos do gênero *Australopithecus*. A única imagem que não é tão próxima, a nível filogenético, é a alternativa “a”.

Neste exercício, alguns (as) alunos (as) podem colocar a alternativa “a” como sendo próxima da imagem de referência, devido ao formato da testa. Neste caso, vale a pena ressaltar as diferenças em relação ao formato do osso zigomático (maçã do rosto), formato do nariz e até mesmo do contorno ocular, que é mais quadrado no *Ardipithecus*. É importante ressaltar que esta resolução fica mais fácil de ser acompanhada com o auxílio da filogenia presente no final do exercício.

Por meio desta discussão, o (a) docente (a) poderá perceber se os (as) alunos (as) sabem interpretar uma filogenia e o que é considerado “parentesco” em sistemática. No entanto, vale frisar que o intuito deste exercício não é cobrar que os (as) alunos (as) saibam interpretar uma filogenia, mas sim de romper com o senso comum de que todo homínido fóssil é um ancestral humano. Assim, cabe ao (à) professor (a) aprofundar ou não nos conceitos filogenéticos.

Por fim, o exercício 4 pede para relacionar características encontradas em humanos com o grupo onde aquela característica surgiu. Este exercício trabalha o conceito de “plesiomorfia” e hereditariedade, de forma que o intuito dele é mostrar que muitas características encontradas nos humanos foram herdadas de ancestrais. A capacidade de usar ferramentas e o aprendizado social é comum em “primata”, enquanto que a locomoção bípede é encontrada em “hominidae” e a linguagem e coluna vertebral ereta surgiu no gênero *Homo*.

Alguns alunos (as) podem se surpreender com o fato de outros primatas serem capazes de usar ferramentas, neste caso, o (a) docente pode dar exemplos sobre primatas que aprenderam esta habilidade, como os macacos-prego que usam rochas como martelos para quebrar nozes e galhos para alcançar insetos no interior de troncos. Além disso, vale ressaltar que as ferramentas humanas são actantes importantes para a compreensão da evolução humana, pois

elas permitem compreender onde os humanos eram encontrados e quais espécies possuíam o hábito de usar ferramentas.

Para a próxima aula: Os (as) alunos (as) deverão fazer a atividade “Evolução humana” (material de apoio 2) em casa, baseando-se no material de apoio 3 “humanos fósseis” e a atividade “características”. Para a atividade “características” a turma poderá ser dividida em 4 grupos, onde cada grupo será responsável por preencher a tabela de 4 espécies de homínídeos previamente definida pelo (a) professor (a).

Aula 2: Conhecendo as espécies de homínídeos

Duração da aula

Uma aula de cinquenta minutos

- **Metodologia a ser utilizada na aula:**

Nesta aula os (as) alunos (as) serão capazes de reconhecer os homínídeos fósseis e suas características, o que é fundamental para que possam discutir futuramente se as espécies tratadas nos exercícios são humanas ou não. Para realizar esta aula, os (as) alunos (as) terão que ter feito as atividades “evolução humana” e “características” em casa, como mencionado na aula anterior.

A fim de promover uma aula interativa dialogada, recomenda-se que a atividade “características” seja completada em sala de aula, de forma que os grupos forneçam os dados que eles encontraram das espécies que eles foram responsáveis por pesquisar para o restante da sala. Após completarem a tabela, o (a) docente perguntará para a turma quais espécies do quadro eles consideram humanas e porquê, afim de elucidar a visão dos alunos acerca da problemática “o que é humano”.

Para a próxima aula: Os alunos deverão fazer a atividade “roteiro Futurama”.

Momento 2: Levantando controvérsias

Após conhecerem um pouco da evolução humana e dos fósseis associados, espera-se que os (as) alunos (as) já estejam refletindo sobre o que é humano. Uma das formas de delimitar os conceitos de humano é por meio da origem, desta forma, este momento fomenta controvérsias envolvendo ciência, religião, cultura e filosofia sobre a problemática em questão.

Duração:

Uma aula de cinquenta minutos

Aula 3: De onde vieram os humanos?

Duração:

Uma aula de cinquenta minutos

- **Metodologia a ser utilizada na aula:**

A proposta do roteiro (material de apoio 5) visa trabalhar de forma lúdica a controvérsia da origem do ser humano, com enfoque no criacionismo *versus* evolucionismo. O episódio proposto (“a origem mecânica”) satiriza ambas as teorias, além de unificar as duas, visto que nele elas se complementam. Outro ponto importante desta atividade é discutir a evolução linear e o conceito de ancestralidade, ambos retratados no episódio.

O criacionismo e o evolucionismo são as controvérsias mais discutidas sobre a evolução humana e introduz novos atores à rede que são as religiões, que podem mobilizar as crenças os (as) alunos (as) e o criador não-ancestral, que pode ser um deus ou um ser de outro planeta, este ator se caracteriza por não ser ancestral dos humanos, mas tê-los “criado”. Desta forma, a partir dessa atividade a rede pode adquirir uma maior complexidade que reflete diretamente na forma que os (as) alunos (as) compreendem a evolução humana e, portanto, apesar de polêmica não pode ser negligenciada.

Na primeira pergunta do roteiro, o nome dado a teoria criacionista defendida pelo dr. Banjo é “criaturismo” e ela se assemelha ao criacionismo por propor que a forma de vida de um determinado grupo foi criado por outro ser. Este conceito raramente é trabalhado sem mencionar as religiões, o que prejudica a compreensão dele pelos (as) alunos (as), visto que ele também abrange a hipótese que os grupos biológicos foram criados por seres alienígenas e que a criação poderia ter sido feita nos ancestrais dos grupos biológicos modernos. Desta forma, o episódio permite compreender o conceito sem vincular princípios religiosos.

O segundo exercício do roteiro pede aos alunos para apontar os erros dos dois cientistas na discussão sobre a origem da espécie humana. O erro do dr. Farnsworth foi propor que o *Homo erectus*, *H. habilis* e o *Australoptecus* são ancestrais humanos e elos perdidos entre os macacos e humanos. Este pensamento reflete a evolução linear e é errado porque, de acordo com a teoria da evolução, uma linhagem teria que se extinguir para dar origem a outra. Outro erro é que propor que todos os “elos perdidos” precisam ser encontrados para “provar” a evolução.

Recomenda-se que o (a) professor (a) discuta com os alunos o roteiro passando por cada pergunta e depois projete a “filogenia dos primatas” (material de apoio 6) para mostrar o ponto de vista evolutivo sobre a origem do ser humano. Em seguida, ele (a) pode

perguntar aos (as) alunos (as) o que foi considerado humano no episódio que eles assistiram e o que é considerado humano na filogenia.

Para a próxima aula: Os alunos deverão ser divididos em grupos para fazer a atividade de júri simulado (material de apoio 7). A turma deverá ser dividida em três grupos, conforme mostrado no material de apoio. Os grupos 2 e 3 deverão pesquisar seus argumentos e definir os componentes do júri para as próximas aulas.

Momento 3: Identificando a rede

A partir do conhecimento adquirido nas aulas anteriores, espera-se que as controvérsias sobre a evolução humana estejam mais consolidadas na visão dos alunos. Assim, para as próximas aulas se propõe a construção de um debate a fim de desenvolver a argumentação dos (as) alunos (as) e a comunicação de pontos de vista divergentes.

Duração:

Duas aulas geminadas de 50 cinquenta minutos.

Aulas 4 e 5: Júri simulado

Duração:

Duas aulas geminadas de 50 cinquenta minutos.

- **Metodologia a ser utilizada na aula:**

Para realizar o júri simulado, a turma terá que ser previamente dividida em grupos, conforme dito na aula 3. No primeiro momento, a sala deverá ser organizada de forma a parecer um tribunal, os grupos irão informar os representantes escolhidos para cada papel do júri e o professor irá dar as instruções de acordo com o material de apoio 7. Após organizar a sala e as instruções forem dadas, os alunos poderão começar o júri seguindo a cronologia proposta no roteiro. Recomenda-se que o (a) professor (a) apenas assista, sem interferir para que a atividade flua com naturalidade.

O (a) professor (a) deverá analisar os argumentos apresentados e fazer as anotações que achar conveniente para dar o *feedback* aos (às) alunos (as), no final da aula. É importante pontuar se os argumentos utilizados foram coerentes com a situação problema e se foram embasados em pesquisas confiáveis.

Ao final do júri, após o veredito, o (a) professor (a) irá dar o *feedback* aos (às) alunos (as) sobre a qualidade das argumentações e fazer as pontuações que ele (a) achar necessária.

Para a próxima aula: Fazer a atividade “definição de humano” (material de apoio 8).

Momento 4: Compreendendo as traduções

O momento final da sequência didática se dedica a ver o que foi aprendido pelos (as) alunos (as) após as discussões anteriores. Espera-se que consigam entender a problemática, os conceitos envolvidos e argumentar seu ponto de vista de forma embasada.

Duração:

Uma aula de cinquenta minutos.

Aula 6: Discussão dos conceitos de “ser humano”

Duração:

Uma aula de cinquenta minutos.

- **Metodologia a ser utilizada na aula:**

Esta aula dedica-se à discussão da atividade “definição de humano”. O (a) docente passará pelas três definições pedidas no quadro a fim de saber o que foi aprendido pelos (as) alunos (as) sobre a situação problema “o que é humano”. Caso os (as) alunos (as) se

sintam confortáveis, eles podem responder o conceito que consideram de “humano”.

Proposta de avaliação

Será avaliada a participação nas discussões, na execução das atividades propostas e no júri simulado.

Materiais de apoio e complementares

Os materiais apresentados nas próximas páginas estão disponíveis em formato ampliado (tamanho A4). Acesse o arquivo pelo link: <https://doi.org/10.5281/zenodo.6954351>



O QUE É HUMANO?



1 De acordo com a teoria da evolução, todos os organismos vivos possuem relações de parentesco sejam elas mais recentes ou mais distantes. Baseado nisso, indique qual das imagens abaixo tem parentesco mais próximo com as alternativas.



a



b



c



Resposta: _____

Resposta: _____

Resposta: _____

2 Você conhece os esqueletos acima? Caso conheça, de quem são?

Resposta: _____





O QUE É HUMANO?



3 Tendo como referência a imagem abaixo, diga que se as imagens das alternativas seguintes possuem parentesco próximo a ela ou não.



a



Resposta: _____

c



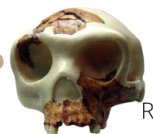
Resposta: _____

b



Resposta: _____

d



Resposta: _____

4 Por causa da ancestralidade comum os seres vivos apresentam características que foram herdadas de seus ancestrais e outras que surgiram dentro do grupo. Relacione as características encontradas somente em humanos (gênero *Homo*), as que são encontradas em outros hominídeos e as que são comuns de todos os primatas.

Grupos

1

Primata

2

Hominidae

3

Humano
(*Homo*)

Características



Locomoção bípede



Capacidade de usar ferramentas



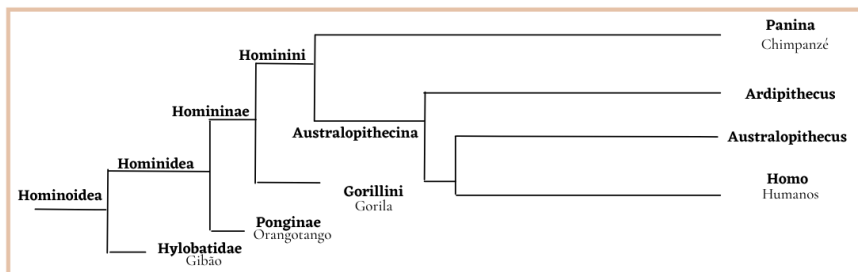
Linguagem



Aprendizado social



Coluna vertebral ereta



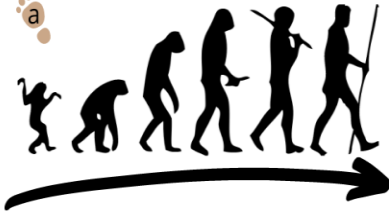


EVOLUÇÃO HUMANA



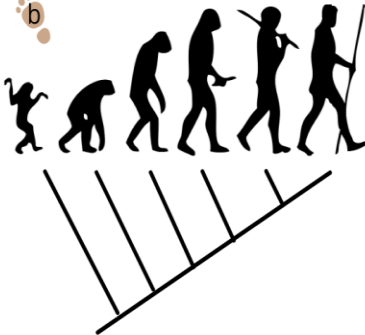
1 Como você interpreta a evolução humana em cada uma das imagens abaixo?

a



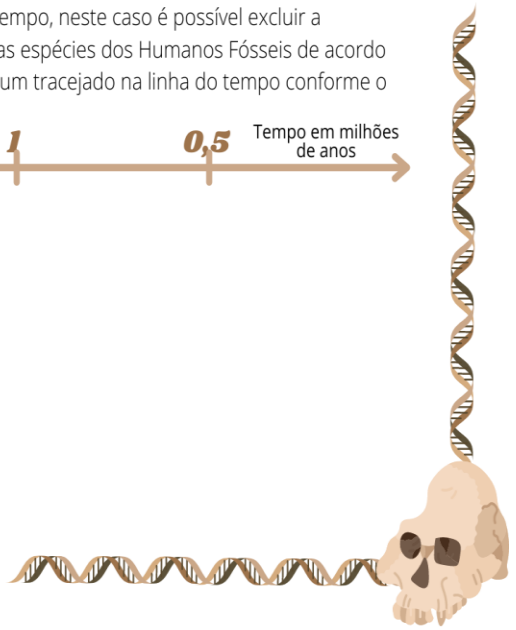
Resposta:

b



Resposta:

2 A ancestralidade é um ponto muito debatido no estudo da evolução humana. Uma forma de entender se uma determinada espécie foi ancestral de outra é saber se elas ocorreram ao mesmo tempo, neste caso é possível excluir a hipótese de ancestralidade. Ordene as espécies dos Humanos Fósseis de acordo com o ano de ocorrência, marcando um tracejado na linha do tempo conforme o exemplo.

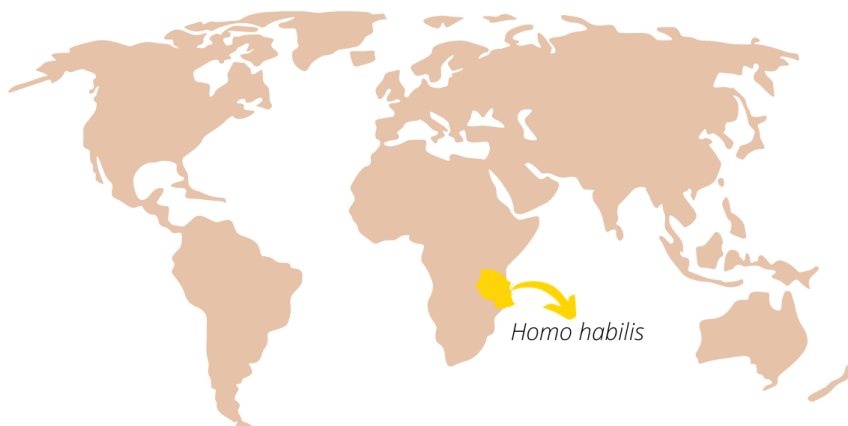




EVOLUÇÃO HUMANA



- 3 Atualmente, o *Homo sapiens* é uma espécie cosmopolita, ou seja, ele é encontrado em todos os locais habitáveis do planeta. Marque no mapa abaixo os locais onde as espécies humanas extintas eram encontradas.

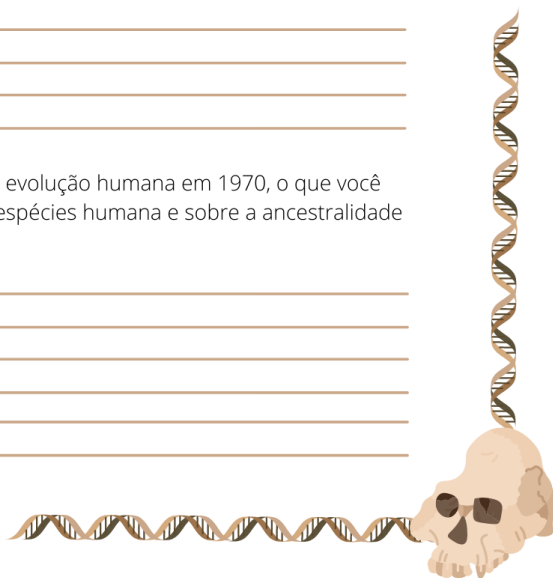


- 4 Após fazer a atividade anterior, o que pode ser concluído a respeito da colonização do ser humano nas Américas e na Austrália?

Resposta:

- 5 Se você estivesse pesquisando sobre evolução humana em 1970, o que você interpretaria sobre a diversidade de espécies humana e sobre a ancestralidade delas?

Resposta:



CARACTERÍSTICAS

Espécie	Bipedalismo	Uso do fogo	Uso de roupas	Uso de ferramentas	Cultura	Religião/Rituais
H. sapiens	x	x	x	x	x	x
Homo luzonensis						
H. tsaichangensis						
H. floresiensis						
H. naledi						
H. rhodesiensis						
H. longi						
Homo neanderthalensis						



CARACTERÍSTICAS

Espécie	Bípedalismo	Uso do fogo	Uso de roupas	Uso de ferramentas	Cultura	Religião/Rituais
H. cepranensis						
H. heidelbergensis						
H. antecessor						
H. ergaster						
H. erectus						
H. gautengensis						
H. rudolfensis						
Homo habilis						



HUMANOS FÓSSEIS

Homo habilis



Ocorreu entre
2.100 - 1.500 M.A.



Vivia na Tanzânia
(África)



Descoberto por
Jonathan Leakey
em 1960

Homo rudolfensis



Ocorreu por volta
de 1.900 M.A.



Vivia na Kenya
(África)



Descoberto por
Richard Leakey em
1972

Homo gautengensis



Ocorreu entre
1.900 - 600 M.A.



Vivia na África do Sul
(África)



Descoberto por Alun
R. Hughes e Philip V.
Tobiasem 1977

Homo erectus



Ocorreu entre
1.900 - 140 M.A.



Vivia na África e
Eurásia



Descoberto por
Eugène Dubois em
1891

Homo ergaster



Ocorreu entre
1.800 - 1300 M.A.



Vivia no leste e
sudeste da África



Descoberto por
Richard Leakey e
Alan Walker em 1970

Homo antecessor



Ocorreu entre
1.200 - 800 M.A.



Vivia no Oeste da
Europa



Descoberto por José
María Bermúdez de
Castro e colegas em
1997

Homo heidelbergensis



Ocorreu entre
0.6 - 300 M.A.

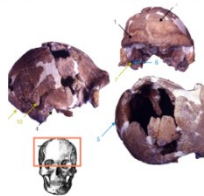


Vivia na África e na
Europa



Descoberto por Otto
Schoetensack em
1907

Homo cepranensis



Ocorreu por volta
de 0.450 M.A.



Vivia na Itália



Descoberto por Italo
Biddittu em 1994

HUMANOS FÓSSEIS

Homo longi



Ocorreu entre 0.309 - 128 M.A.



Vivia no nordeste da China



Descrito por Ji Qiang em 2021, mas descoberto em 1933

Homo rhodesiensis



Ocorreu por volta de 0.3 M.A.



Vivia na Zâmbia (África)



Descoberto por Arthur Smith Woodward em 1921

Atualmente é considerado *H. heidelbergensis*

Homo naledi



Ocorreu por volta de 0.3 M.A.



Vivia na África do Sul (África)



Descrito por Lee R. Berger e colegas em 2015

Homo neanderthalensis



Ocorreu entre 0.24 - 0.40 M.A.



Vivia na Europa e oeste da Ásia



Descoberto por Philippe-Charles Schmerling em 1829

Também é considerado uma subespécie de *H. sapiens*

Homo floresiensis



Ocorreu entre 0.19 - 0.50 M.A.



Vivia na Indonésia



Descrito por Peter Brown e colegas em 2004

Homo tsaichangensis



Ocorreu por volta de 0.1 M.A.

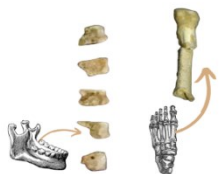


Vivia em Taiwan



Descrito por Mark McMenamin em 2015

Homo luzonensis



Ocorreu por volta de 0.67 M.A.



Vivia nas Filipinas



Descoberto por Florent Détroit e colegas em 2007

Homo sapiens



Originou em 0.3 M.A.



Ocorre em todo o globo terrestre



Descrito por Carl Linnaeus em 1758

FUTURAMA ROTEIRO



Instruções

1. Assista o episódio 09 da 6ª temporada de Futurama, intitulado " Origem Mecânica (A Clockwork Origin)" para fazer este roteiro;
2. Ao longo do episódio, anote os pontos que você considerar importante para discutir em sala de aula;
3. Após assistir o episódio completo, responda as perguntas propostas neste roteiro.

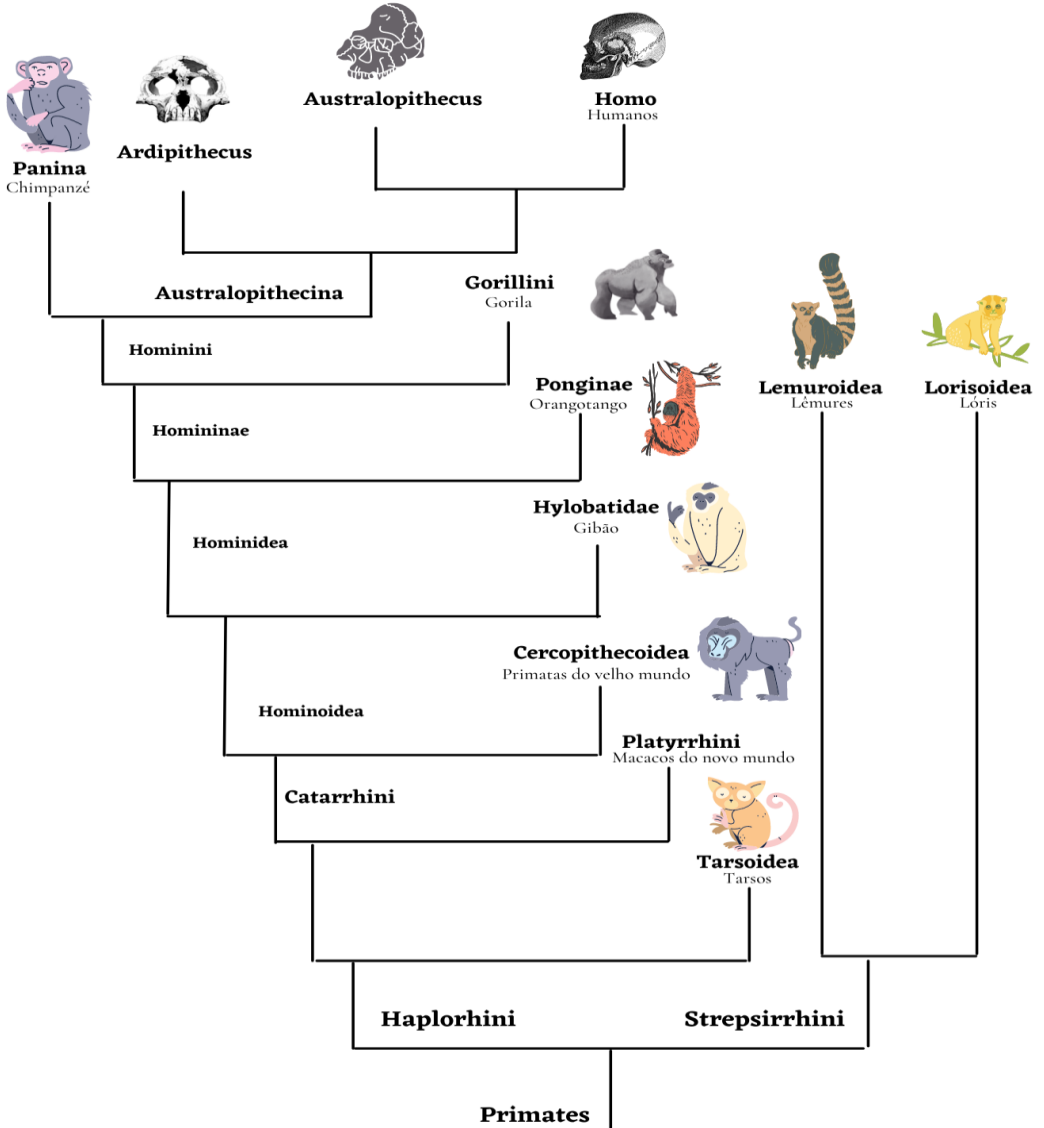
No começo do episódio os doutores Farnsworth e Banjo discutem sobre a origem das espécies modernas, especialmente a do *Homo sapiens*. Nesta discussão, o dr. Banjo argumenta que "*toda a forma de vida foi criada em sua forma atual, há 7 mil anos, por uma criatura fantástica do espaço sideral*". Qual o nome desta teoria no desenho e qual é a sua semelhança com o criacionismo?

Resposta: _____

Ao ser questionado sobre a evolução humana, o dr. Farnsworth propõe que o *Homo erectus*, *Homo habilis* e *Australoptecus* são ancestrais do *Homo sapiens*. Em seguida, os dois cientistas discutem sobre a descoberta dos elos perdidos entre macacos e humanos na tentativa de provar/desprovar a teoria da evolução. Ambos os cientistas estão errados, por que?

Resposta: _____

FILOGENIA DOS PRIMATAS



JURI SIMULADO

Situação problema: Um grupo de cientistas descobriu uma nova espécie vivente, a *Homo imaginarius*, e a consideraram como uma espécie humana. No entanto, um grupo de políticos conservadores não reconhece a *H. imaginarius* como humana e abriram um projeto de lei para abster os indivíduos desta espécie dos direitos constitucionais. Desta forma, os cientistas entraram com um processo judicial contra os políticos para incluir a *H. imaginarius* nos direitos constitucionais.

Composição do júri:

Juiz	Tem por função organizar o andamento do julgamento. Ele autoriza a fala das testemunhas, o promotor e o advogado.	1 pessoa neutra (grupo 1)
Jurados	Analizam os argumentos da promotoria, do advogado e os testemunhos e julgam o réu culpado ou inocente.	7 pessoas neutras (grupo 1)
Advogado de defesa	Defende o réu por meio de argumentos previamente estabelecidos e elucida os fatos a favor do réu.	1 pessoa do grupo 2
Promotor	Acusa o réu e fornece os argumentos e fatos que podem condená-lo.	1 pessoa do grupo 3
Testemunhas	Fornecem relatos que possam ajudar ou condenar o réu.	3 pessoas dos grupos 2 e 3
Réu	É quem está sendo acusado/julgado.	1 pessoa do grupo 2
Público	Apenas acompanha o julgamento.	Restante da turma

Organização:

- **10 minutos** - Introdução da sessão: O juiz abre a sessão, contextualiza os presentes e dá a palavra para o promotor.
- **5 minutos** - **Acusação pelo promotor.** Ele irá fazer a primeira acusação.
- **5 minutos** - **Defesa do réu.** O advogado de defesa tem a palavra aqui.
- **30 minutos** - **Debate dos grupos.** O juiz deverá intercalar a fala da promotoria e testemunhas de acusação com as do advogado e testemunhas de defesa. Cada lado terá 15 minutos ao todo.
- **10 minutos** - **Discussão dos jurados.** Eles deverão reunir e decidir entre eles o veredito .
- **5 minutos** - **Veredito:** O juiz lerá para todos o veredito.



JURI SIMULADO

Funções dos grupos:

Grupo 1	Deverão ficar sem pesquisar sobre o tema até o julgamento. Serão divididos entre juiz e jurados
Grupo 2	Representam os políticos conservadores. Deverão defender que <i>H. imaginarius</i> não é uma espécie humana. Serão divididos entre réu, advogado de defesa e testemunhas.
Grupo 3	Representam os cientistas. Deverão defender que <i>H. imaginarius</i> é uma espécie humana. Deverão compor as testemunhas de acusação e a promotoria.

Atenção: Todos os integrantes do grupo 2 e 3 deverão ajudar a formular argumentos defendendo seus pontos de vista, mesmo aqueles que ficarão como público no dia do júri.

Sobre a *H. imaginarius*: A espécie possui uma população de 1000 indivíduos que residem na ilha Kiloko, localizada no oceano pacífico, próximo a linha do Equador. Eles possuem altura média de 1,20 m, são bípedes, apresentam linguagem falada, mas não escrita, rituais funerários e habilidade de usar ferramenta e fogo. Os indivíduos vivem em cabanas construídas com folhas e galhos da vegetação local e possuem o hábito de pescar usando redes de cipó. A hipertricose (excesso de pelos) e o albinismo (falta de pigmentos corporais) são comuns na população e eles se diferenciam do *Homo sapiens*, de acordo com os cientistas que descreveram a espécie, pelo formato triangular do maxilar, que ocorre devido a redução do processo coronoide e do alargamento do zigomático. Essas características conferem uma força de mandíbula mais concentrada nos incisivos, sendo uma adaptação evolutiva para comer as frutas e raízes de casca dura encontradas na ilha.



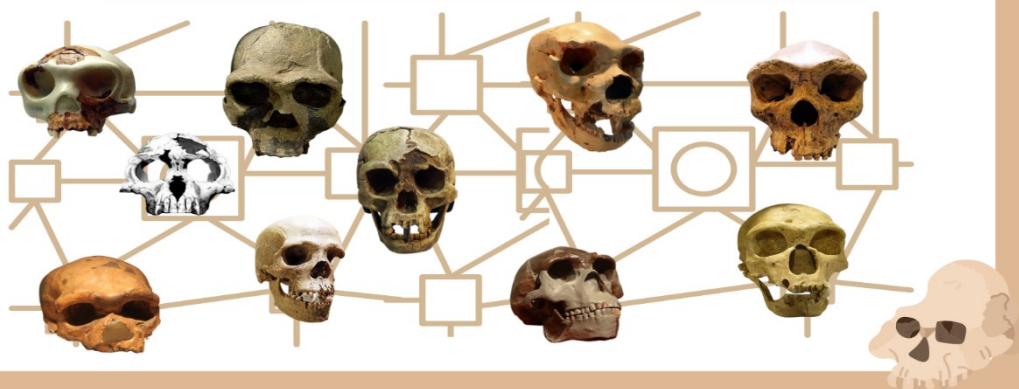
DEFINIÇÃO DE HUMANO

1 Escreva no quadro abaixo as definições de "ser humano" de acordo com a teologia, filosofia e biologia.

Área temática	Definição
Teologia	
Filosofia	
Biologia	

2 Após as discussões e argumentos apresentados pelos seus colegas, qual é o seu conceito de "ser humano"?

Resposta: _____



Fontes das imagens dos Materiais de apoio e complementares do capítulo 6. “O QUE É SER HUMANO? Compreendendo a evolução humana sob uma perspectiva Ator-Rede”.

Imagens dos hominídeos:

* Homo habilis:

[https://en.wikipedia.org/wiki/File:KNM_ER_1813_\(H._habilis\).png](https://en.wikipedia.org/wiki/File:KNM_ER_1813_(H._habilis).png)

*H. rudolfensis:

[https://en.wikipedia.org/wiki/File:KNM_ER_1470_\(H._rudolfensis\).png](https://en.wikipedia.org/wiki/File:KNM_ER_1470_(H._rudolfensis).png)

* H. gautengensis:

<https://en.wikipedia.org/wiki/File:6a00d8341bf67c53ef01348157067b970c-320wi.jpg>

* H. erectus:

[https://en.wikipedia.org/wiki/File:Peking_Man_Skull_\(replica\)_presented_at_Paleozoological_Museum_of_China.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/File:Peking_Man_Skull_(replica)_presented_at_Paleozoological_Museum_of_China.jpg)

* H. ergaster: https://en.wikipedia.org/wiki/File:Homo_ergaster.jpg

* H. antecessor:

https://en.wikipedia.org/wiki/File:Homo_antecessor_reconstruccion.jpg

* H. heidelbergensis:

[https://en.wikipedia.org/wiki/File:Natural_History_Museum_055_\(8043309585\).jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/File:Natural_History_Museum_055_(8043309585).jpg)

* H. cepranensis:

https://en.wikipedia.org/wiki/File:Homo_cepranensis.png

* H. longi:

https://en.wikipedia.org/wiki/File:Dali_Man_Skull,_Replica.jpg

* H. rhodesiensis:

[https://en.wikipedia.org/wiki/File:Broken_Hill_Skull_\(Replica01\).jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/File:Broken_Hill_Skull_(Replica01).jpg)

* H. naledi: [https://en.wikipedia.org/wiki/File:Elife-24232-fig5-v1_LES1_cranium_\(Homo_naledi\).jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/File:Elife-24232-fig5-v1_LES1_cranium_(Homo_naledi).jpg)

* H. floresiensis:
https://en.wikipedia.org/wiki/File:Homo_Florensiensis-MGL_95216-P5030051-white.jpg

* H. tsaichangensis:
https://en.wikipedia.org/wiki/File:The_Fossil_of_Mandible_of_Penghu_1.jpg

* H. luzonensis:
https://en.wikipedia.org/wiki/File:Homo_luzonensis_metatarsal.jpg
<https://en.wikipedia.org/wiki/File:LuzonensisMolars.jpg>

* H. sapiens:
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Homo_sapiens_skull.jpg

Imagens futurama:

https://pt.wikipedia.org/wiki/Futurama#/media/Ficheiro:Futurama_1999_logo.svg

<http://umentertainment.blogspot.com/2016/04/futurama-clockwork-origin.html>

Imagens dos esqueletos completos:

1: <https://boneclones.com/images/store-product/product-373-main-main-big-1499297848.jpg>

2:
<https://i.pinimg.com/originals/b4/dd/7f/b4dd7fe3429dd9a26b5451b6ea2a5680.jpg>

a:
https://en.wikiversity.org/wiki/File:Neanderthalensis_skeleton_CC_f_p.jpg

b: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Em_-_Australopithecus_sediba_-_1.jpg

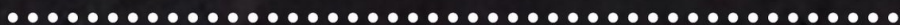
c: <https://news.usc.edu/184862/little-foot-fossil-analysis-human-ape-evolution-usc-research/>

Referências bibliográficas

- Amorim, D. D. S. (2002). Fundamentos de sistemática filogenética. In *Fundamentos de sistemática filogenética* (pp. 154-154).
- Andrews, T. M., Kalinowski, S. T., & Leonard, M. J. (2011). “Are humans evolving?” A classroom discussion to change student misconceptions regarding natural selection. *Evolution: Education and Outreach*, 4(3), 456-466.
- Araújo, B. O. P., das Neves, B. P., Correia, A. F. G., & Campos, C. R. P. (2017). Uma sequência didática para aprender Evolução Humana: conhecendo origens e superando preconceitos. Anais do XI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 1-8.
- Baum, D. A., Smith, S. D., & Donovan, S. S. (2005). The tree-thinking challenge. *Science*, 310(5750), 979-980.
- Borrello, M. E. (2021). The Historiography of Modern Evolutionary Biology. *Handbook of the Historiography of Biology*, 33-58.
- Bowler, P. J. (2009). *Evolution: the history of an idea*. 25.
- Darwin, C. (1871). *The descent of man, and selection in relation to sex*. Princeton University Press.
- Di Mare, R. A. (2002). *A concepção da teoria evolutiva desde os gregos*. EDIPUCRS.
- Gould, S. J. (1990). *Vida Maravilhosa: o acaso na evolução e na natureza da história*. São Paulo: Companhia das Letras. 392 p.
- Latour, B. e Woolgar, S. (1986). *Laboratory life*. The construction of scientific facts. Princeton: Princeton University Press.

- Pedretti, E., & Nazir, J. (2011). Currents in STSE education: Mapping a complex field, 40 years on. *Science education*, 95(4), 601-626.
- Ridley, M. (2009). *Evolução*. Artmed Editora.
- Sá, N. L., Nagem, R. L., Almeida, M. G., & Marcelos, M. F. (2014). Metáfora Marcha do progresso e as concepções de evolução nas obras *A origem das espécies* (Charles Darwin) e *Early man* (F. Clark Howell). *Latin American Journal of Science Education*, 1, 23001.
- Santos, P. D. S., Pugliese, A., & Santos, C. M. D. (2019). A iconografia linear da evolução na perspectiva de docentes que atuam na educação básica. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências* (Belo Horizonte), 21.

OS/AS AUTORES/AS



Ashtari Mota Piancastelli

Graduada em Licenciatura em Ciências Biológicas pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Mestranda pelo programa de Pós-graduação em Zoologia do Instituto de Ciências Biológicas da UFMG. Atua com evolução de mamíferos e morfologia funcional de felinos no Laboratório de Evolução de Mamíferos da UFMG. (<https://orcid.org/0000-0003-4109-8385>).

Débora do Prado Lisboa

Graduada em Pedagogia pela Universidade Estadual de Minas Gerais (UEMG) e Mestre em Educação Tecnológica pelo Centro de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET/MG). Atua como docente na rede pública de Contagem e Santa Luzia. (<https://orcid.org/0000-0002-9660-7282>).

Fábio Augusto Rodrigues e Silva

Professor do Departamento de Biodiversidade, Evolução e Meio Ambiente do Instituto de Ciências Exatas e Biológicas da Universidade Federal de Ouro Preto. Doutor em educação pela UFMG com interesses na formação de professores inicial e continuada e elaboração de materiais didáticos. (<https://orcid.org/0000-0003-1245-2648>).

Felipe Sales de Oliveira

Licenciado em Ciências Biológicas pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Também pela UFRJ, realizou o mestrado e o doutorado no Programa de Educação, Gestão e Difusão em Biociências, do Instituto de Bioquímica Médica Leopoldo de Meis. Desde 2019 é professor do Departamento de Métodos e Técnicas de Ensino, localizado na Faculdade de Educação, da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). (<https://orcid.org/0000-0001-5002-3778>).

Francisco Ângelo Coutinho

Graduado em Licenciatura em Ciências Biológicas pela Universidade Federal de Minas Gerais, mestre em Filosofia pela Universidade Federal de Minas Gerais, com ênfase em Lógica e Filosofia da Ciência, e doutor em Educação pela Universidade Federal de Minas Gerais. Professor da Faculdade de Educação da Universidade Federal de Minas Gerais, onde atua na graduação e na pós-graduação em Educação. (<https://orcid.org/0000-0003-4519-2870>).

Gabriela Frois Duarte

Professora do Departamento de Ciências Biológicas do Instituto de Ciências Exatas e Biológicas da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP). Doutora em Microbiologia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), com interesse no estudo da biodiversidade de microrganismos ambientais e na divulgação de temas microbiológicos relevantes para a sociedade. (<https://orcid.org/0000-0003-1967-8228>).

Igor Mateus Sousa Santana

Graduando em Ciências Biológicas pela Universidade Federal de Minas Gerais. É bolsista de iniciação científica do CNPq junto ao Grupo de Pesquisa "Cogitamus - Educação e Humanidades Científicas", estudando a natureza da ciência e a antropologia dos modernos de Bruno Latour. (<https://orcid.org/0000-0001-7538-4000>).

Luana Cordeiro da Fonseca

Graduada em Licenciatura em Educação do Campo (LECampo) pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), na área de Ciências da Vida e da Natureza (CVN). Atua no Programa de Extensão de Formação Continuada de Educadores da Rede Pública dos municípios Atingidos pelo Rompimento da Barragem de Fundão em Minas Gerais, realizado em parceria

entre a UFMG, UFOP, FUNDEP e Fundação Renova. É professora da Rede Pública Estadual, na área de Ciências e Tecnologia, no município de Capelinha - MG. (<https://orcid.org/0000-0002-0127-3890>).

Raí Leonardo de Jesus Santos

Graduando em Licenciatura em Ciências Biológicas pela Universidade Federal de Minas Gerais. Bolsista de iniciação científica da Fapemig junto ao Grupo de Pesquisa “Cogitamos - Educação e humanidades científicas”, estudando a natureza da ciência e a antropologia dos modernos de Bruno Latour (<https://orcid.org/0000-0002-8061-2554>).

Sarah Eliane de Matos Silva

Doutoranda do Programa interdisciplinar de Pós-graduação em Neurociências da Universidade Federal de Minas Gerais. Mestre em ensino de biologia e especialista em microbiologia aplicada às ciências da saúde, com interesse nas áreas de educação e ensino de Ciências. (<https://orcid.org/0000-0001-6744-4755>).

CIÊNCIAS NA ESCOLA

UM NOVO OLHAR SOBRE O ENSINO DA EVOLUÇÃO BIOLÓGICA: REFLEXÕES E PROPOSTAS

(ORGANIZADORES)

FRANCISCO ÂNGELO COUTINHO
FÁBIO AUGUSTO RODRIGUES E SILVA
FELIPE SALES DE OLIVEIRA

A presença destacada da temática Evolução nos novos documentos norteadores da prática pedagógica, tanto em Unidades Temáticas quanto em competências específicas, salienta como ela é importante em um contexto educativo que visa uma formação humana e cidadã. Entretanto, por se tratarem de documentos recentes, aliado ainda aos transtornos causados pelo período dos dois anos iniciais da pandemia de COVID-19, que compreendeu a interrupção das atividades escolares presenciais e, quando possível, a retomada em um formato remoto, ainda não foi possível verificar se essas novas normativas ocasionaram modificações na prática docente.

Cabe acompanhar se, a partir desses documentos, e, conseqüentemente, com a readequação dos livros e outros materiais didáticos, teremos alguma mudança de cenário. É justamente nessa lacuna que esta obra se enquadra, pois (I) ao oferecer reflexões e propostas orientadas pelas perspectivas curriculares mais atuais da Educação em Ciências, (II) apresentar uma abordagem que desconstrói algumas das narrativas hegemônicas e excludentes sobre o tema, (III) considerar as demandas da Educação do Campo, (IV) incluir o uso das tecnologias educacionais e (V) ao sugerir a realização de uma aula gamificada, possibilita um olhar idiosincrático sobre o processo evolutivo que não se encontra em outros recursos didáticos.



Esta obra foi inteiramente financiada pelo
Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e
Tecnológico