

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

**EDIÇÃO GÊNICA POR CRISPR/CAS9: uma estratégia de ensino das biotecnologias
com ênfase na bioética**

MARA LETÍCIA CARVALHO DE SOUZA MARTINS

Belo Horizonte

2022

MARA LETÍCIA CARVALHO DE SOUZA MARTINS

**EDIÇÃO GÊNICA POR CRISPR/CAS9: uma estratégia de ensino das biotecnologias
com ênfase na bioética**

Trabalho de Conclusão de Mestrado - TCM
apresentado ao Mestrado Profissional em
Ensino de Biologia em Rede Nacional –
PROFBIO, do Instituto de Ciências Biológicas,
da Universidade Federal de Minas Gerais, como
requisito parcial para obtenção do título de
Mestre em Ensino de Biologia.

Área de concentração: Ensino de Biologia

Orientadora: Dra. Adlane Vilas-Boas Ferreira

Belo Horizonte

2022

043

Martins, Mara Letícia Carvalho de Souza.

Edição gênica por CRISPR/CAS9: uma estratégia de ensino das biotecnologias com ênfase na bioética [manuscrito] / Mara Letícia Carvalho de Souza Martins. – 2022.

168 f. : il. ; 29,5 cm.

Orientadora: Dra. Adlane Vilas-Boas Ferreira.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Ciências Biológicas. PROFBIO - Mestrado Profissional em Ensino de Biologia.

1. Ensino - Biologia. 2. Genética. 3. Bioética. 4. Edição de Genes. 5. Pesquisa. 6. Aprendizagem. 7. Plano de aula. I. Ferreira, Adlane Vilas-Boas. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Ciências Biológicas. III. Título.

CDU: 372.857.01



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE BIOLOGIA

ATA DE DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE MESTRADO DE

MARA LETÍCIA CARVALHO DE SOUZA MARTINS

DEFESA Nº. 007 ENTRADA 1º/2020

No dia **14 de julho de 2022, às 10:00 horas**, reuniram-se, remotamente, através da plataforma Zoom, os componentes da Banca Examinadora do Trabalho de Conclusão de Mestrado, indicados pelo Colegiado do PROFBIO/UFMG, para julgar, em exame final, o trabalho intitulado: "**EDIÇÃO GÊNICA POR CRISPR/CAS 9: UMA ESTRATÉGIA DE ENSINO DAS BIOTECNOLOGIAS COM ÊNFASE NA BIOÉTICA**", como requisito final para a obtenção do grau de Mestre em Ensino de Biologia, área de concentração: **Ensino de Biologia**. Abrindo a sessão, a Presidente da Comissão, a **Dra. Adlane Vilas Boas Ferreira**, após dar conhecimento aos presentes sobre as Normas Regulamentares do Trabalho Final, passou a palavra à candidata para apresentação oral de seu trabalho. Seguiu-se a arguição pelos examinadores, com a respectiva defesa da candidata. Logo após, a Banca se reuniu, sem a presença da candidata e do público, para julgamento e expedição do resultado. Foram atribuídas as seguintes indicações:

PROFESSOR EXAMINADOR	INSTITUIÇÃO	INDICAÇÃO
Dra. Adlane Vilas Boas Ferreira	UFMG	APROVADA
Dr. Rafael Pinto Vieira	UFMG	APROVADA
Dra. Fernanda Nobre Amaral Villani	SEE MG	APROVADA

Pelas indicações, a candidata foi considerada: APROVADA.

O resultado foi comunicado publicamente à candidata pela Presidente da Comissão.

Comunicou-se, ainda, à candidata, que o texto final do TCM, com as alterações sugeridas pela banca, se for o caso, deverá ser entregue à Coordenação Nacional do PROFBIO, no prazo máximo de 60 dias, a contar da presente data, para que se proceda a homologação.

Nada mais havendo a tratar, a Presidente encerrou a reunião e lavrou a presente ATA, que será assinada por todos os membros participantes da Banca Examinadora.

Belo Horizonte, 14 de julho de 2022.

Assinatura dos membros da banca examinadora:

Documento assinado eletronicamente por **Adlane Vilas Boas Ferreira, Professora do Magistério Superior**, em 14/07/2022, às 14:18, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº](#)



[10.543, de 13 de novembro de 2020.](#)



Documento assinado eletronicamente por **Rafael Pinto Vieira, Professor do Magistério Superior**, em 14/07/2022, às 16:11, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.](#)



Documento assinado eletronicamente por **FERNANDA NOBRE AMARAL VILLANI, Usuária Externa**, em 22/07/2022, às 22:50, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.](#)



Documento assinado eletronicamente por **Miguel Jose Lopes, Coordenador(a)**, em 25/07/2022, às 14:28, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.](#)



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1554678** e o código CRC **D567EA10**.

AGRADECIMENTO À CAPES

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – Brasil – Código de Financiamento 001.

Relato do Mestrando – Turma de 2020

Instituição: Universidade Federal de Minas Gerais
Mestrando: Mara Letícia Carvalho de Souza Martins
Título do TCM: Edição gênica por CRISPR/Cas9: uma estratégia de ensino das biotecnologias com ênfase na bioética
Data da defesa: 14/07/2022
<p>Início o meu relato dizendo que sempre foi um sonho estudar na UFMG. Esse sonho não foi possível na graduação, mas graças a Deus e a muito esforço consegui passar na seleção do Profbio e cursar a pós-graduação.</p> <p>O mestrado Profbio gerou em mim muitas mudanças. Minhas concepções de professora mudaram e me mostraram o meu real papel na vida de meus estudantes, o papel de mediadora. O Ensino por Investigação apresentado a mim no Curso me fez refletir e perceber que não importa a quantidade, mas a qualidade do que é ensinado. Também nunca me imaginei numa posição de pesquisadora e, hoje, auxilio outros colegas que estão ingressando nessa jornada.</p> <p>Mas nem tudo foram flores. A pandemia de Covid-19 provocou uma reestruturação no nosso Curso e nos produtos que produzíamos no caminho. Foram dias à frente do computador e noites mal dormidas estudando para os tópicos, fazendo trabalhos, escrevendo as AASAs, refazendo o projeto de TCM e me preparando para as temerosas provas de qualificação. Foram muitos momentos de ansiedade, desespero e, literalmente, de choro, pensando que não ia dar conta e nunca terminaria o mestrado.</p> <p>Mas já dizia o ditado popular: “o que não nos mata, nos fortalece”. E saio do mestrado mais forte, mais confiante da profissional que hoje sou, mais experiente e mais responsável com o ensino público. Eu, estudante e professora de escola pública, finalizo este trabalho e este ciclo com o sentimento de dever cumprido.</p> <p>Algo que muito me importa é ser grata. Por isso, gostaria de finalizar esse relato agradecendo as oportunidades que me foram dadas, por poder cursar o Profbio, aos meus familiares, aos professores do curso, aos colegas de mestrado e à minha orientadora do TCM, a professora Adlane Vilas-Boas, por todo apoio ao longo dessa jornada. Deixo aqui a minha profunda admiração por ela.</p>

*Primeiramente, dedico esta
dissertação a Deus, porque tudo o
que sou e tudo o que tenho vem
dEle e é para glória dEle.*

*Também dedico o trabalho ao meu
amado esposo, Alexandre.*

*Obrigada por seu meu
companheiro e dividir a sua vida
comigo!*

Aos meus familiares e amigos.

*Dedico, ainda, aos meus colegas
professores da Educação Básica
que não desistem de buscar o
melhor para os seus estudantes.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por todas as bênçãos e por ter me sustentado até aqui.

Ao meu marido, minha melhor companhia. Muito obrigada por seu meu companheiro de todas as horas. Devo muito deste mestrado a você!

Aos meus pais, irmã, sogros, cunhados, sobrinhos emprestados e demais familiares. Obrigada por todo apoio e compreensão quando tive que renunciar a muitas horas de estar com vocês para realizar as atividades do mestrado.

À minha orientadora Adlane Vilas-Boas que me acolheu desde o primeiro momento. Te admiro muito! Obrigada pelo ser humano que você é, por me ensinar além da nossa relação professor-aluno.

À minha amiga e companheira de trabalho, Ingrid Mota, que chorou comigo, me suportou e me trouxe palavras de ânimo quando eu achei que não ia conseguir.

Aos professores do mestrado e aos colegas de turma. Obrigada pelos ensinamentos, acolhida e troca de vivências.

Aos professores da banca, que acreditaram no meu trabalho e trouxeram contribuições importantes para ele.

Aos colegas da E. E. Getúlio Vargas, por permitirem a realização desta pesquisa e confiarem que realizaríamos um trabalho audacioso, mas com muita seriedade. Obrigada pelo apoio nesta jornada!

Aos colegas da equipe da Diretoria de Modalidades de Ensino e Temáticas Especiais – SEE/MG, que me acolheram e sempre me transmitiram palavras de conforto e resiliência nos momentos finais do trabalho.

Aos meus queridos alunos. Sem vocês eu não teria conseguido terminar o trabalho. Obrigada pela confiança e por me permitir aprender com vocês!

À CAPES, pela concessão da bolsa de mestrado.

“Mestre não é quem ensina, mas quem, de repente, aprende.”

(João Guimarães Rosa)

RESUMO

O presente trabalho se trata de uma pesquisa cujo produto é uma sequência didática ancorada no movimento CTSA (Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente) e com viés investigativo em uma proposta de desenvolver o protagonismo estudantil e fomentar a formação cidadã. Utilizamos a biotecnologia de edição de genes conhecida como CRISPR, sigla em inglês para Repetições Palindrômicas Curtas Agrupadas e Regularmente Interespaçadas, como um meio para o ensino e discussão de conceitos relacionados à genética e à biologia molecular à luz da bioética. A edição de genes e suas biotecnologias são temas polêmicos e controversos que tem grande potencial para um aprendizado efetivo da Biologia e fomento da formação cidadã. A técnica CRISPR ainda é pouco conhecida pelas diferentes esferas da sociedade e pouco difundida nos livros didáticos do ensino médio. Na sequência desenvolvida fez-se uso de: 1) um questionário para verificar conhecimentos prévios sobre genética e biologia molecular e possibilitar a discussão de conceitos permitindo a construção do conhecimento em grupo; 2) estudos de caso que apresentavam situações-problema envolvendo edição de genes em humanos e que tinham a intenção de estimular a discussão sobre CRISPR de forma crítica; 3) representação artística de um júri popular elaborado pelos próprios estudantes sobre a biotecnologia apresentada. Foram feitas análises do questionário de conhecimentos prévios que revelaram que os discentes apresentaram dificuldade em estabelecer relação entre os conceitos de gene, cromossomo e DNA. Entretanto, as discussões em sala os levaram a construir o conhecimento coletivamente de modo a reconhecerem o erro e entender a resposta correta. Foram analisadas as respostas sobre os estudos de caso propostos que foram categorizadas segundo metodologia de análise de conteúdo. Evidenciou-se que não há um consenso sobre a manipulação do DNA humano e que os estudantes não conheciam as biotecnologias de edição de genes, mas listaram maior número de consequências positivas do que negativas sobre a técnica, estabelecendo critérios para seu uso na sociedade. O júri simulado mostrou ser uma ferramenta eficaz para o ensino de ferramentas de edição de genes numa perspectiva bioética. Acredita-se que o presente trabalho poderá auxiliar professores a estimular o pensamento crítico e o protagonismo dos estudantes.

Palavras-chave: Genética, Bioética, Edição de genes, CRISPR, DNA, CTSA, Ensino por investigação, Ensino Médio, Aprendizagem, Sequência didática.

ABSTRACT

The present work is a research whose product is a didactic sequence anchored in the CTSA (Science, Technology, Society and Environment) movement and with an investigative bias in a proposal to develop student protagonism and promote citizen training. We use the gene editing biotechnology known as CRISPR, which stands for Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats, as a means for teaching and discussing concepts related to genetics and molecular biology in the light of bioethics. Gene editing and its biotechnologies are polemical and controversial topics that have great potential for effective learning in Biology and fostering citizen education. The CRISPR technique is not well-known in different spheres of society and not present in most high school textbooks. In the sequence developed, we used: 1) a questionnaire to verify previous knowledge about genetics and molecular biology and to enable the discussion of concepts allowing the construction of knowledge in a group; 2) case studies with situations involving gene editing in humans and that were intended to stimulate the discussion on CRISPR in a critical way; 3) artistic representation of a popular jury prepared by the students themselves on the presented biotechnology. The sequence was developed with students from the 1st grade of a state public school in Minas Gerais in the discipline Natural Sciences and its Technologies in the newly implemented new high school. Analyses of the previous knowledge questionnaire were carried out, which revealed that the students had difficulty in establishing a relationship between the concepts of gene, chromosome and DNA. However, the classroom discussions led them to build knowledge collectively in order to recognize the error and understand the correct answer. Responses on the proposed case studies were analyzed and categorized according to content analysis methodology. It was evident that there is no consensus on the manipulation of human DNA and that the students did not know about gene editing biotechnologies, but listed a greater number of positive than negative consequences on the technique, establishing criteria for its use in society. The mock jury proved to be an effective tool for teaching gene editing tools from a bioethical perspective. It is believed that the present work can help teachers to stimulate critical thinking and student protagonism.

Keywords: Genetics, Bioethics, Gene editing, CRISPR, DNA, CTSA, Teaching by investigation, High School, Learning, Didactic sequence.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – REPRESENTAÇÃO DO CICLO INVESTIGATIVO DE PEDASTE E COLABORADORES (2015).....	24
FIGURA 2 – SISTEMA CRISPR/CAS9. ETAPAS ENVOLVIDAS NO SISTEMA DE PROTEÇÃO.....	33
FIGURA 3 – PRIMEIRA REUNIÃO PARA DEFINIÇÃO DOS PERSONAGENS E FUNÇÕES NO JÚRI POPULAR.....	88
FIGURA 4 – REUNIÃO DOS CENÓGRAFOS (A) E ELABORAÇÃO DO ROTEIRO (B).....	88
FIGURA 5 – APRESENTAÇÃO DO JÚRI POPULAR DA 1ª SÉRIE DO ENSINO MÉDIO PARA ESTUDANTES DO 9º ANO, PROFESSORES, FUNCIONÁRIOS DA ESCOLA, PAIS E RESPONSÁVEIS CONVIDADOS.....	90

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – Distribuição quanto à frequência de respostas dadas pelos estudantes na questão 1.....	45
GRÁFICO 2 – Distribuição quanto à frequência de respostas dadas pelos estudantes na questão 2.....	48
GRÁFICO 3 – Distribuição quanto à frequência de respostas dadas pelos estudantes na questão 3.....	50
GRÁFICO 4 – Distribuição quanto à frequência de respostas dadas pelos estudantes na questão 4.....	51
GRÁFICO 5 – Distribuição quanto à frequência de respostas dadas pelos estudantes na questão 5.....	53
GRÁFICO 6 – Distribuição quanto à frequência de respostas dadas pelos estudantes na questão 6.....	54
GRÁFICO 7 – Distribuição quanto à frequência de respostas dadas pelos estudantes na questão 7. O item em asterisco corresponde à resposta correta.....	55
GRÁFICO 8 – Distribuição quanto à frequência de respostas dadas pelos estudantes na questão 8. O item em asterisco corresponde à resposta correta.....	57
GRÁFICO 9 – Distribuição quanto à frequência de respostas dadas pelos estudantes na questão 9. O item em asterisco corresponde à resposta correta.....	58
GRÁFICO 10 – Distribuição quanto à frequência de respostas dadas pelos estudantes na questão 10. O item em asterisco corresponde à resposta correta.....	59
GRÁFICO 11 – Distribuição quanto à frequência de respostas dadas pelos estudantes na questão 11.....	60

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – RESUMO DAS ATIVIDADES PLANEJADAS.....	41
QUADRO 2 – RESUMO DAS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS EM CADA AULA.....	43
QUADRO 3 - RECURSOS AUDIOVISUAIS UTILIZADOS NA AULA 3.....	61
QUADRO 4 – REFERENCIAL DE CONSULTA QUE FOI FORNECIDO AOS ESTUDANTES.....	64
QUADRO 5 – RELAÇÃO ENTRE O CÓDIGO QUE REPRESENTA OS PARTICIPANTES, RESPOSTAS DOS ESTUDANTES PARA O ESTUDO DE CASO SOBRE ACL E IDEIAS EXTRAÍDAS DO CONTEXTO.....	68
QUADRO 6 – IDEIAS EXTRAÍDAS DAS RESPOSTAS DO ESTUDO DE CASO SOBRE ACL, CÓDIGO QUE REPRESENTA OS ESTUDANTES E NÚMERO DE ALUNOS.....	70
QUADRO 7 - RELAÇÃO ENTRE O CÓDIGO QUE REPRESENTA OS PARTICIPANTES, RESPOSTAS DOS ESTUDANTES PARA O ESTUDO DE CASO SOBRE EDIÇÃO DE GENES E IDEIAS EXTRAÍDAS DO CONTEXTO.....	72
QUADRO 8 – IDEIAS EXTRAÍDAS DAS RESPOSTAS DO ESTUDO DE CASO SOBRE EDIÇÃO DE GENES DE UM FUTURO BEBÊ, CÓDIGO QUE REPRESENTA OS ESTUDANTES E NÚMERO DE ALUNOS.....	74
QUADRO 9 – RELAÇÃO ENTRE O CÓDIGO QUE REPRESENTA OS PARTICIPANTES, RESPOSTAS DOS ESTUDANTES PARA O ESTUDO DE CASO SOBRE EDIÇÃO DE GENES E IDEIAS EXTRAÍDAS DO CONTEXTO.....	76
QUADRO 10 – IDEIAS EXTRAÍDAS DAS RESPOSTAS DO ESTUDO DE CASO SOBRE TESTE GENÉTICO PARA ELA, CÓDIGO QUE REPRESENTA OS ESTUDANTES E NÚMERO DE ALUNOS.....	77
QUADRO 11 – IDEIAS EXTRAÍDAS DAS RESPOSTAS DO PRIMEIRO ITEM DO ESTUDO DE CASO SOBRE TESTE GENÉTICO PARA DOENÇA DE HUNTINGTON, CÓDIGO QUE REPRESENTA OS ESTUDANTES E NÚMERO DE ALUNOS.....	79
QUADRO 12 – IDEIAS EXTRAÍDAS DAS RESPOSTAS DO SEGUNDO ITEM DO ESTUDO DE CASO SOBRE TESTE GENÉTICO PARA DOENÇA DE	81

HUNTINGTON, CÓDIGO QUE REPRESENTA OS ESTUDANTES E NÚMERO DE ALUNOS.....

QUADRO 13 – IDEIAS EXTRAÍDAS DAS RESPOSTAS DO TERCEIRO ITEM DO ESTUDO DE CASO SOBRE TESTE GENÉTICO PARA DOENÇA DE HUNTINGTON, CÓDIGO QUE REPRESENTA OS ESTUDANTES E NÚMERO DE ALUNOS.....

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACL	Amaurose Congênita de Leber
BNCC	Base Nacional Comum Curricular
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CRISPR	Repetições Palindrômicas Curtas Agrupadas e Regularmente Interespaçadas
CTS	Ciência, Tecnologia e Sociedade
CTSA	Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente
DNA	Ácido desoxirribonucleico
ELA	Esclerose Lateral Amiotrófica
EnCI	Ensino de Ciências por Investigação
HDR	Reparo Direcionado por Homologia
HIV	Vírus da Imunodeficiência Humana
LD	Livro Didático
LDB	Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional
NHEJ	Junção de Extremidades não Homólogas
PCN	Parâmetros Curriculares Nacionais
PCN+	Parâmetros Curriculares Nacionais Ensino Médio
PCR	Reação em Cadeia de Polimerase
PNLD	Programa Nacional do Livro Didático
Profbio	Mestrado Profissional em Ensino de Biologia em Rede Nacional
RNA	Ácido ribonucleico
SD	Sequência Didática
TALE	Termo de Assentimento livre e Esclarecido
TCLE	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	16
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	18
2.1. Ensino de Ciências e Biologia – Regulamentações e reformas pertinentes..	18
2.2. Abordagem CTS/CTSA.....	20
2.3. Ensino por investigação	22
2.4. A importância da abordagem de temas controversos em sala de aula	25
2.5. O ensino de bioética e o livro didático.....	27
2.6. Um panorama sobre as biotecnologias.....	29
2.6.1. Engenharia Genética	29
2.6.2. A ferramenta CRISPR/Cas9.....	30
2.6.3. Ensino de bioética e a ferramenta CRISPR/Cas9.....	33
3. OBJETIVO GERAL.....	35
3.1. Objetivos específicos	35
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	35
4.1. Caracterização do estudo	37
4.2. Metodologia de pesquisa.....	38
4.3. Produto proposto: sequência didática.....	39
4.4. Aspectos éticos.....	40
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	41
5.1. Atividades desenvolvidas na Sequência Didática	42
5.1.1. Aula 1 e 2 – Aplicação do questionário, estudos de caso e discussão do questionário.....	42
5.1.1.1. Análise das respostas da questão 1 – DNA como fonte da informação genética hereditária.....	43
5.1.1.2. Análise das respostas da questão 2 – O gene como unidade fundamental da hereditariedade.....	46
5.1.1.3. Análise das respostas da questão 3 – Alelos.....	48
5.1.1.4. Análise das respostas da questão 4 – Bases nitrogenadas.....	50
5.1.1.5. Análise das respostas da questão 5 – O núcleo celular como estrutura de armazenamento do DNA nas células eucariontes.....	51
5.1.1.6. Análise das respostas da questão 6 – Cromossomos.....	53
5.1.1.7. Análise das respostas da questão 7 – O conceito de mutação.....	54

5.1.1.8. Análise das respostas da questão 8 – Variabilidade genética.....	55
5.1.1.9. Análise das respostas da questão 9 – O dogma central da biologia....	56
5.1.1.10. Análise das respostas da questão 10 – O conceito de genótipo e fenótipo.....	57
5.1.1.11. Análise das respostas da questão 11 – Relação entre os conceitos de cromossomos, gene e DNA.....	58
5.1.2. Aula 3 – Aula dialogada sobre duplicação do DNA e síntese de proteínas.....	59
5.1.3. Aula 4 – Discussão dos estudos de caso e CRISPR/Cas9.....	61
5.1.3.1. Apresentação e discussões iniciais sobre CRISPR/Ca9.....	61
5.1.3.2. Diálogo sobre os estudos de caso.....	63
5.1.4. Estudos de caso sobre doenças e edição gênica.....	65
5.1.4.1. Análise das respostas dos estudantes nos estudos de caso.....	65
5.1.4.1.1. Análise das respostas do primeiro estudo de caso: Amaurose Congênita de Leber (ACL).....	66
5.1.4.1.2. Análise das respostas do segundo estudo de caso: edição gênica para mudanças antes do nascimento.....	69
5.1.4.1.3. Análise das respostas do terceiro estudo de caso: Esclerose Lateral Amiotrófica (ELA).....	73
5.1.4.1.4. Análise das respostas do quarto estudo de caso: Doença de Huntington.....	77
5.1.5. Aula 5 – Discussão e documentário sobre CRISPR/Cas9.....	81
5.1.6. Aula 6 e 7 – Apresentações dos grupos sobre CRISPR/Cas9.....	82
5.1.7. Aula 8, 9 e 10 – Júri simulado.....	84
5.2. Reflexões sobre a sequência didática.....	89
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS.....	91
7. REFERÊNCIAS.....	93
ANEXOS.....	102
ANEXO A – ROTEIRO DO JÚRI SIMULADO ELABORADO PELOS ESTUDANTES.....	102
ANEXO B – REPORTAGEM PRODUZIDA PELOS ESTUDANTES CONVIDANDO A COMUNIDADE ESCOLAR A ASSISTIR O JÚRI SIMULADO.....	112

APÊNDICES.....	113
APÊNDICE A – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE).....	113
APÊNDICE B – TERMO DE ASSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TALE).....	116
APÊNDICE C – QUESTIONÁRIO.....	118
APÊNDICE D – ESTUDOS DE CASO.....	120
APÊNDICE E – ORIENTAÇÕES PARA A REALIZAÇÃO DO JÚRI SIMULADO.....	123
APÊNDICE F – RECORTE DAS RESPOSTAS DOS ESTUDANTES.....	129
APÊNDICE G – SEQUÊNCIA DIDÁTICA.....	133

1. INTRODUÇÃO

O processo de ensino e aprendizagem implica em desafios para professores e estudantes e no que se refere aos conteúdos de Ciências da Natureza isto não é diferente. Pela nossa experiência, os assuntos especificamente abordados na Genética e na Biologia Molecular, são alguns dos temas que os estudantes têm mais dificuldade de aprendizagem. Essa dificuldade pode gerar erros conceituais que, por sua vez, podem vir a prejudicar o entendimento e a aprendizagem efetiva desses conceitos.

Há uma pluralidade de fatores que interferem neste processo e muitos estudos vêm sendo feitos, desde o século passado, no sentido de melhor compreender a causa das dificuldades. Acredita-se que a Genética e a Biologia Molecular exigem um grande grau de abstração ou ainda, que há uma carência no desenvolvimento de metodologias de ensino que conectem a educação formal com o cotidiano do estudante e que promovam o engajamento, o protagonismo estudantil e a consequente significação dos conceitos.

SILVA e KALHIL (2017) criticam como o ensino desses conteúdos é, muitas vezes, abordado de maneira superficial e desconexa. Concordamos com as autoras sobre a relevância da Genética para formação do sujeito cidadão, pois o conhecimento das inovações científicas e tecnológicas requer o desenvolvimento de pensamento crítico, compromisso com questões sociais, posicionamento e participação ativa diante das situações que envolvam o impacto que essas inovações podem causar na sociedade.

Nesse sentido, o presente trabalho se trata de uma pesquisa de mestrado cujo produto é uma sequência didática ancorada no movimento CTSA (Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente) e com viés investigativo que teve por objetivo desenvolver o protagonismo estudantil e fomentar a formação cidadã. Utilizamos a biotecnologia de edição de genes conhecida como CRISPR, sigla em inglês para *Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats* (Repetições Palindrômicas Curtas Agrupadas e Regularmente Interespaçadas), como um meio para o ensino e discussão de conceitos relacionados à genética e à biologia molecular à luz da bioética.

Essa sequência didática foi pensada, inicialmente, para ser desenvolvida com estudantes da 3ª série do Ensino Médio em 2021. Entretanto, devido à pandemia e ao isolamento social imposto pela Covid-19, sua aplicação em sala de aula foi adiada para 2022. Neste ano começou-se a pôr em prática o novo ensino médio nas escolas da rede estadual de Minas Gerais com

extensão de disciplinas e da carga horária dos estudantes. Dentre as disciplinas do Itinerário Formativo, como propõe a Base Nacional Comum Curricular (BNCC), está a disciplina de Ciências da Natureza e suas Tecnologias na qual se propõe um aprofundamento dos estudos abordados nas tradicionais disciplinas de Biologia, Física e Química. Dado o seu papel multidisciplinar e abordagem de temas relacionados à bioética propostos no planejamento anual (MINAS GERAIS, 2022), optamos por adaptar e implementar nossa sequência de ensino para a 1ª série do Ensino Médio na disciplina Ciências da Natureza e suas Tecnologias.

Na sequência desenvolvida fez-se uso de: 1) um questionário para verificar conhecimentos prévios e possibilitar a discussão de conceitos para permitir a construção do conhecimento em grupo; 2) estudos de caso que apresentavam situações-problema envolvendo edição de genes e que tinham a intenção de estimular a discussão de forma crítica; 3) representação artística de um júri popular elaborado pelos próprios estudantes da 1ª série visto pelos demais discentes do turno matutino, professores, funcionários da escola, pais e/ou responsáveis e demais membros da comunidade escolar sobre a adequação do uso da técnica CRISPR em humanos.

Nossa intenção, em nenhum momento, foi que os participantes soubessem em detalhes como funcionam as ferramentas de edição de genes, mas sim que eles tivessem conhecimento da sua existência, dos impactos que sua utilização pode ter, seja na saúde, agricultura ou economia e que, enquanto indivíduos pertencentes a uma sociedade, precisam questionar e falar sobre o desenvolvimento da ciência e seus produtos. Em nosso ponto de vista, o ensino de ciências por investigação trabalhado juntamente com o movimento CTSA se constitui uma importante abordagem didática, pois proporciona a interação entre ciência e sociedade, promove a alfabetização científica e tem como foco o desenvolvimento crítico do estudante.

Para a nossa pesquisa, as respostas dos questionários foram analisadas quantitativamente e aquelas relacionadas às situações-problema foram submetidas à análise de conteúdo de BARDIN (1977).

Nesta introdução buscamos trazer um panorama geral de nossa pesquisa e produto do mestrado. No próximo capítulo será apresentada uma revisão da literatura onde buscamos trazer seções com alguns conceitos importantes para o desenvolvimento e entendimento de nossa pesquisa, como o movimento CTSA, o ensino por investigação, o ensino de bioética e uma visão ampla das biotecnologias de edição de genes.

Em Material e métodos será apresentado o curso metodológico percorrido incluindo a caracterização do estudo, metodologia de pesquisa, os aspectos éticos, e finalmente, o produto didático de nossa pesquisa: a sequência didática onde são expostos em maior detalhe como se deu a sua elaboração.

No capítulo de Resultados e discussão será contextualizada nossa sequência didática e serão apresentados os resultados de sua implementação, discutidos à luz da literatura existente. Já nas Considerações finais, buscamos trazer um pouco de nossas impressões sobre o que foi colocado em prática do nosso produto, seu potencial e perspectivas para futuras aplicações.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Ensino de Ciências e Biologia – Regulamentações e reformas pertinentes

A prática de ensino de ciências tem passado por diversas mudanças especialmente com a elaboração e o desenvolvimento de leis e documentos públicos que visam a normatizar a educação básica por todo o país. A Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB), a lei suprema da educação brasileira, como o próprio nome nos diz, regulamenta todo o sistema educacional público e privado do Brasil, desde a educação básica até o ensino superior e tem passado por várias alterações ao longo dos anos.

A LDB de 1961 buscou expandir o ensino das ciências aumentando a sua carga horária desde o então chamado 1º ano do curso ginásial (KRASILCHIK, 2000). As disciplinas de Física, Química e Biologia adquiriram a função de formar um cidadão crítico com uso do método científico. Nesse sentido, o cidadão deveria ser preparado para tomar decisões baseadas em dados e informações. Entretanto, com a ditadura militar instaurada em 1964 o objetivo das ciências mudou, passando então a focar na formação do trabalhador que, conseqüentemente, traria o progresso ao Brasil (KRASILCHIK, 2000; TRÓPIA, 2011).

Com a LDB de 1971 o ensino das ciências obteve o caráter profissionalizante com a inclusão de disciplinas que preparariam os estudantes para o mercado de trabalho. Segundo KRASILCHIK (2000), essa mudança descaracterizou a sua função no currículo.

Mudanças significativas ocorreram em todo o sistema de ensino, especialmente nas décadas de 1990 e 2000. A LDB de 1996, passou a envolver o mundo do trabalho assim como a formação social do indivíduo (BRASIL, 1996).

A formação básica do cidadão na escola fundamental exige o pleno domínio da leitura, da escrita e do cálculo, a compreensão do ambiente material e social, do sistema político, da tecnologia, das artes e dos valores em que se fundamenta a sociedade. O ensino médio tem a função de consolidação dos conhecimentos e a preparação para o trabalho e a cidadania para continuar aprendendo (KRASILCHIK, 2000, p. 87).

Os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs), de 1998, orientam os professores a adaptar os conteúdos trabalhados em cada disciplina tendo como base a regionalidade (BRASIL, 1998). De forma similar e complementar, o PCN+, elaborado para cada área do conhecimento, visa a facilitar o planejamento e organização do trabalho da escola apresentando sugestões de práticas que buscam envolver a educação não formal do cotidiano com o ensino disciplinar de cada área (BRASIL, 2002).

As mudanças educacionais e reformas nos documentos oficiais orientadores na década de 1990 são resultantes também, segundo FAGUNDES (2016), do movimento de professores no Brasil. Esses profissionais mostraram preocupação com o real aprendizado dos estudantes na educação básica e passaram a exigir uma conexão entre a produção de conhecimento e as suas vivências em sala de aula.

Mais recentemente, em 2017, foi aprovada a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) que substituiu os PCNs e PCN+, tendo como função regular a elaboração dos currículos das escolas públicas e privadas dos níveis Educação Infantil, Ensinos Fundamental e Médio, buscando por meio do desenvolvimento de competências e habilidades promover a igualdade e a equidade da qualidade do ensino em todo o país. Neste mesmo documento também se sugere práticas interdisciplinares, além de práticas que busquem uma conexão da educação não formal com o aprendizado da sala de aula, sugerindo uso de textos de divulgação científica presentes nas mídias (BRASIL, 2018).

Todos os documentos citados têm o objetivo de orientar a estruturação dos currículos de forma a garantir aprendizagem que visa mais a qualidade do que a quantidade de conteúdos que se é ensinado. Neste contexto, as ideias construtivistas que surgiram entre as décadas de 1960 e 1970 ganham força com sua representação em documentos oficiais, que por sua vez, pressupõem uma mudança no papel do professor e do estudante. O professor deixa de ser o único detentor do conhecimento para ser um mediador do saber, conduzindo o aluno em seu processo de aprendizagem e sempre valorizando o seu conhecimento cotidiano do assunto (SASSERON, 2015; SCARPA; CAMPOS, 2018; SILVA; GEROLIN; TRIVELATO, 2018).

Fica evidente a preocupação que se tem quanto à formação cidadã, crítica e autônoma dos estudantes da Educação Básica. Nesta perspectiva, faz-se necessário o desenvolvimento e

aplicação de novas metodologias em sala de aula que almejam alcançar os objetivos propostos nos documentos oficiais, proporcionando a formação ativa, científica e cidadã dos estudantes por meio do ensino das Ciências da Natureza.

2.2. Abordagem CTS/CTSA

Mesmo que também existam controvérsias sobre a aplicação da tecnologia da área da Genética e Biologia Molecular, é certo que avanços tecnológicos têm proporcionado inúmeras vantagens e possibilidades para a humanidade, seja na saúde, economia ou agricultura. Contudo, essas informações são pouco divulgadas e discutidas no contexto escolar da Educação Básica, o que contribui para a formação de sujeitos que desconhecem a história da Ciência e como os adventos dela provenientes impactam diretamente a sociedade.

OLIVEIRA, SILVA e ZANETTI (2011) criticam a falta de problematização em Ciência, Tecnologia e Sociedade nas aulas de genética e biologia molecular. Os autores ainda alertam para a falta de informações em livros didáticos sobre descobertas recentes nessas áreas. Percebe-se que muito se tem discutido quanto à educação como fomento à formação cidadã e à articulação da ciência e da tecnologia com a sociedade. Os documentos orientadores e a BNCC, citados na seção anterior, ressaltam a importância do desenvolvimento dessas competências no ambiente escolar.

Paulo Freire (2021), educador mundialmente renomado e grande defensor da educação cidadã, afirma que ensinar não é o mesmo que transferir conhecimento. Ensinar requer aprendizagem por parte do professor e do estudante. Em concordância com o autor, o processo de ensino-aprendizagem necessita ser vivido e testemunhado pelo professor e pelo estudante. Nessa perspectiva, observa-se, mais uma vez, que a formação em ciências deve colaborar para a compreensão do mundo e as transformações que esses indivíduos críticos podem gerar na sociedade em que vivem (BRASIL, 2002).

O movimento CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade), amplamente difundido, está presente nos currículos de diversos países desde a década de 1970 (PINHEIRO; SILVEIRA; BAZZO, 2007). Segundo AMARAL, XAVIER e MACIEL (2009), um dos pilares da abordagem CTS é estabelecer condições para os estudantes desenvolverem habilidades que visem a discussão de questões de natureza científica e tecnológica presentes na sociedade. Seu objetivo maior, para KRASILCHIK (1992), é “preparar o cidadão para participar dos processos

decisórios relativos ao desenvolvimento científico e tecnológico da comunidade em que atua” (KRASILCHIK, 1992, p.5).

Embora tenha se iniciado na década de 1970, o movimento CTS só foi expandido nas décadas seguintes. Dado o agravamento de questões ambientais devido ao processo de industrialização e crescimento populacional, ocorreram sugestões de ensino da abordagem CTS com foco no meio ambiente, alterando a sigla para CTSA (Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente) (ROCHA et al., 2017).

LEMOS (2013) afirma que o objetivo do ensino com abordagem CTSA é fomentar a formação cidadã, ou seja, permitir a construção de valores e conhecimentos por parte dos discentes para que eles sejam capazes de opinar em questões que envolvam a ciência, a tecnologia e o ambiente. Em concordância com TRIVELATO e SILVA (2011), o movimento CTSA, quando usado adequadamente nas escolas, permite mostrar aos estudantes que há pluralidade na ciência, uma vez que a sociedade tem diversos interesses no seu desenvolvimento, seja ele econômico, social, racial, ético ou político.

PINHEIRO, SILVEIRA e BAZZO (2007) ressaltam que mais do que ensinar a construir tecnologia por meio da ciência, é preciso mostrar aos estudantes que a ciência é criação humana, produto de natureza cultural, política e econômica. Segundo ANDERY e colaboradoras (2014), a ciência é modificada pelas necessidades da sociedade em cada tempo e momento histórico. As autoras ressaltam a importância da ciência enquanto ideia construída para satisfazer os anseios da humanidade.

[...] Só se pode entender a produção do conhecimento científico – que teve e tem interferência na história construída pelo ser humano – se forem analisadas as condições concretas que condicionaram e condicionam a sua produção. Assumir essa forma de análise não significa negar a existência de uma dinâmica interna à própria ciência. Descobertas e explicações científicas também atuam como fatores determinantes da produção de novos conhecimentos. Desconsiderar essa relativa autonomia da atividade científica é fazer uma avaliação simplista e mecânica da relação que a ciência e sociedade guardam entre si (ANDERY *et al.*, 2014, p.15).

STRIEDER (2012) descreve a pluralidade da abordagem CTS/CTSA. A autora aponta para a possibilidade de desenvolvimento de diversas propostas utilizando CTS/CTSA no ambiente escolar. Nesse contexto, observa-se que a abordagem CTSA se constitui uma ferramenta viável para o ensino dos conteúdos de Ciências da Natureza.

Especificamente sobre o ensino da genética moderna, tema que permeia o nosso trabalho, a proposição de atividades com enfoque CTSA permite apresentar aos estudantes que as biotecnologias de edição de genes são desenvolvidas de acordo com a necessidade da

sociedade. E a ciência e a tecnologia como produto da sociedade, podem ser modificadas pela sociedade ao mesmo tempo em que elas impactam a sociedade. Caberá ao cidadão decidir e opinar como o a ciência e a tecnologia poderão ser utilizadas e como elas influenciarão a sua vida.

É evidente que o desenvolvimento científico e tecnológico impacta a sociedade e, conseqüentemente, influencia o ensino de ciências. A literatura nos mostra que, após a Segunda Guerra Mundial, a ciência e a tecnologia que a partir dali se originaram se tornaram um bem material e intelectual das sociedades que buscavam autonomia e desenvolvimento (NASCIMENTO; FERNANDES; MENDONÇA, 2010; SANTOS; MORTIMER, 2002; TRÓPIA, 2011). A visão progressista da ciência e a preocupação em formar cada vez mais cientistas foi tamanha que impactou os currículos das disciplinas de ciências da natureza, como mostrado na seção anterior.

No âmbito da produção científica e tecnológica brasileira, os anos 1950, 1960 e 1970 foram marcados por interesses de produção científica internacional que não condizia com a realidade e necessidade da sociedade brasileira. Sobre a ciência produzida nessa época, dizia-se que deveria ser alheia à tecnologia e à sociedade. Entretanto, nos anos 1980 e 1990, com a globalização viu-se o Estado perder dominação sobre a produção da ciência e dar espaço para a competitividade. Os avanços e as inovações tecnológicas explicitaram a necessidade e inseparável articulação entre ciência, tecnologia e sociedade. (NASCIMENTO; FERNANDES; MENDONÇA, 2010). É nesse contexto de mudanças do papel da ciência na sociedade e vice-versa que surgem movimentos e estratégias didáticas que buscam integrar os conhecimentos da sociedade com os ensinados na educação básica, como o Ensino por Investigação e o movimento CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade).

2.3. Ensino por investigação

O Ensino de Ciências por Investigação (EnCI) é, segundo FRANCO e MUNFORD (2020), difícil de se definir dada à variedade de formas que podem ser apresentadas em sala de aula. Entretanto, pode-se entender o EnCI como uma abordagem didática que busca engajar os discentes em seu processo de aprendizagem por meio de questões e problemas que serão resolvidos através da investigação, da coleta, análise e interpretação dos dados. Esse processo permite ao aprendiz estabelecer conclusões baseadas em evidências científicas ao mesmo tempo que pode refletir sobre todo o processo (SCARPA; CAMPOS, 2018).

Percebe-se que o EnCI visa desenvolver a autonomia e o pensamento crítico do estudante por meio não apenas do aprendizado de ciências, mas também o aprender sobre e o fazer ciências. Proposta inicialmente pelo filósofo e educador John Dewey em meados do século XX, o EnCI surge como uma estratégia que pressupõe uma mudança no papel do professor e do estudante. O professor deixa de ser o detentor do conhecimento, enquanto o estudante passa a ser o centro do processo, sendo um sujeito que traz consigo conhecimentos prévios que devem ser valorizados e conectados aos conceitos que se espera desenvolver para uma aprendizagem efetiva (TRÓPIA, 2011).

PEDASTE e colaboradores (2015), mediante sua revisão de literatura, propuseram uma forma de operacionalizar o EnCI por meio um ciclo investigativo com etapas como representado na FIGURA 1. No ciclo investigativo tem-se: a orientação, que corresponde à fase inicial de engajamento dos estudantes sobre o assunto a ser abordado, onde serão levantadas as questões ou hipóteses norteadoras do processo investigativo; a investigação, em que se propõe a coleta de dados e informações; a experimentação, em que faz-se o teste de hipóteses; a exploração, onde pode-se utilizar diversos métodos de coleta, organização e sistematização dos dados; a interpretação dos dados, como o próprio nome já diz, os conceitos são utilizados para explicar os dados e há construção de conhecimento; a conclusão, etapa de construção de afirmações, explicações ou posicionamentos que respondam à questão inicial da investigação, fase em que os argumentos articulam com as evidências; a discussão, apresentação dos resultados obtidos; a comunicação, em que divulga-se os resultados obtidos para os demais grupos participantes; e por último, a fase da reflexão, momento de avaliação, crítica e legitimação do conhecimento produzido pelos estudantes (PEDASTE et al., 2015; SCARPA; CAMPOS, 2018).

FIGURA 1 – REPRESENTAÇÃO DO CICLO INVESTIGATIVO DE PEDASTE E COLABORADORES (2015).



Fonte: A autora (2022). Baseado em PEDASTE e colaboradores (2015) e SCARPA e CAMPOS (2018).

Outro ponto relevante sobre o EnCI é a promoção da Alfabetização e Letramento Científico. Entende-se como Alfabetização Científica a capacidade de construção para análise e avaliação de circunstâncias que proporcionam ou terminam com a tomada de decisões e posicionamento do sujeito. Se trata de um processo contínuo, ou seja, deve estar em constante construção em todo o processo de ensino-aprendizagem (SASSERON, 2015). Esses conceitos, segundo SASSERON e CARVALHO (2011), são complexos de se definir e, por muitas vezes, podem ser usados como sinônimos. Contudo, as autoras entendem o Letramento Científico como o estado que um indivíduo ou grupo social adquire em consequência da apropriação da escrita científica.

Independentemente do conceito que se pretende utilizar, a Alfabetização e/ou Letramento Científico são trabalhados no EnCI, uma vez que durante o processo de investigação os estudantes lidam com novos conceitos científicos alicerçados em conhecimentos prévios, contrapõem os dados obtidos com as questões iniciais e argumentam comunicando e refletindo sobre os resultados encontrados. Desta forma, o EnCI promove o desenvolvimento de cidadãos críticos e reflexivos que tem acesso ao conhecimento científico e podem escolher fazer parte ou não desse mundo, pois já conseguem decifrar seus códigos.

De acordo com SASSERON e CARVALHO (2011), o ensino deve ser pautado em discussões que tragam à tona as diversas influências que um conceito ou tema científico pode ter em si. O importante não é que o estudante saiba fazer pesquisa científica, mas entender que os avanços da ciência trazem consequências para sua vida. Com isso, pode-se entender que conhecer as ciências implica reconhecer que o mundo está em constante transformação, sendo importante compreender as novas formas de entendimento dos fenômenos naturais e como elas impactam a nossa vida (SASSERON, 2015).

Nesse sentido, acredita-se que a implementação de uma sequência didática com viés investigativo atrelado ao movimento CTSA possa engajar os discentes no aprendizado dos conceitos de Ciências da Natureza, levando-os a refletir sobre como a produção científica afeta diretamente nosso cotidiano. Além disso, é importante que, enquanto cidadãos, tenhamos conhecimento sobre os produtos científicos para decidirmos sua utilização em sociedade.

2.4. A importância da abordagem de temas controversos em sala de aula

É fato que vivemos em um tempo de constante debate e controvérsias. Nossas decisões pessoais passam por estas questões, por exemplo: o uso do transporte público ou veículo próprio para ir ao trabalho; apoiar ou não uma causa política; separar ou não o lixo para reciclagem; investir em fontes de energia renováveis ou continuar utilizando derivados do petróleo; consumir ou não produtos transgênicos. Estes são alguns exemplos de questões que são incessantemente confrontadas em nosso cotidiano. É importante que questões polêmicas e controvérsias como essas e, outras mais, sejam abordadas no ambiente escolar.

Temas controversos são aqueles que geram debates e discussões em sala de aula. Questões que envolvem o aborto, as células tronco e o uso de animais em pesquisas são alguns dentre diversos outros exemplos de assuntos que podem ser abordados nas disciplinas de Ciências da Natureza. Estes, geralmente demandam maior dedicação do professor no planejamento das aulas, pois requerem extenso estudo prévio e promovem debates complexos que envolvem incertezas, dilemas éticos, religiosos, políticos, econômicos e sociais. Sendo assim, esses assuntos obrigatoriamente necessitam da participação ativa dos discentes.

Esses temas são relevantes, pois articulam a necessidade de se avaliar os riscos e os benefícios relacionados à aplicação da Ciência e da Tecnologia. VIEIRA e BAZZO (2007) defendem a introdução de temas controversos em sala de aula e apontam aspectos positivos de sua utilização. Concordando com os autores, a adição de discussões sobre temas científicos

controversos proporciona aos estudantes a sensação de pertencimento à sociedade em que vivem e promove engajamento entre eles, fazendo-os se interessar por problemas e participar de debates que envolvam a interação da ciência, da tecnologia, da sociedade e do ambiente. Além disso, os temas controversos promovem discussões das dimensões éticas, políticas, sociais e econômicas da produção científica e suas relações com a Sociedade e o Ambiente (SILVA; CARVALHO, 2009). Segundo REIS e GALVÃO (2005) é papel do professor estabelecer essa conexão entre a cultura e a educação informal com a educação formal e cultura científica.

Quanto às dificuldades encontradas por professores, SILVA e CARVALHO (2009) apontam a baixa aceitação e a falta de tempo para planejamento das aulas como alguns dos grandes obstáculos quanto à proposição de temas controversos em sala de aula. Os autores ainda destacam que alguns docentes têm receio de abordar em suas aulas temas que lidam com poucos conceitos científicos. Nesse sentido, alguns professores consideram que trabalhar questões que não envolvam o ensino direto de fórmulas, leis e teorias específicas significa abordar menor número de conceitos científicos. Outro ponto elencado pelos autores para a dificuldade de professores de apresentação desses temas está relacionado à formação dos docentes. Entrevistando futuros professores de Física, os autores identificaram que a formação acadêmica influencia a maneira como eles veem o ensino. Muitos desses professores estão habituados a aulas extensas, cheias de conceitos e fórmulas. Esses professores acreditam que as aulas por eles ministradas devem ter semelhante abordagem.

SILVA e KRASILCHIK (2013), em pesquisa realizada com alunos da graduação em Ciências Biológicas de Instituições de Ensino Superior de São Paulo, concluíram que os licenciandos conseguem observar dilemas éticos, mas tem dificuldades em estabelecer metodologias de abordagem de tais temas em sala de aula. Os autores apontam alguns motivos para tal dificuldade. Entre eles estão a apreensão do envolvimento em questões políticas e religiosas, e a falta de conhecimento prévio que essas questões exigem do professor para sua efetiva discussão. Isso demonstra que a formação básica de professor tem sido insuficiente para a abordagem de assuntos polêmicos e contemporâneos, sendo necessárias a formação continuada e a existência de mais estudos sobre os temas.

Em contrapartida, TRIVELATO e SILVA (2011) relatam os aspectos positivos sobre a implementação desses temas. As autoras indicam dois pontos positivos para os professores que visam incorporar temas controversos em suas aulas: o primeiro diz respeito à motivação e

interesse dos alunos. Assuntos trabalhados em sala de aula que são divulgados nas mídias tendem a se associar ao cotidiano do discente, fazendo com que ele tenha mais interesse em participar da aula e conhecer o assunto mais profundamente. O segundo ponto citado se refere à aproximação entre professor e aluno. Quando o professor aborda um tema que está em alta no cotidiano tende a promover o diálogo, valorizar a opinião dos estudantes e fazê-los entender que existem diferentes pontos de vista sobre um determinado assunto que, por sua vez, “serve também para diminuir a divisão entre a escola e o mundo em que os estudantes vivem” (TRIVELATO; SILVA, 2011, p.95).

Diante dos pontos elencados, acreditamos que a disciplina de Ciências da Natureza, estabelecida no currículo do novo ensino médio, é um campo farto para discussões de temas cotidianos e controversos que deve ser aproveitado pelo docente. Nas aulas ministradas nesta disciplina, o professor poderá mostrar para os estudantes a complexidade da ciência, permitindo o entendimento de que não é algo engessado, ela é construída a muitas mãos. E essas mãos frequentemente entram em conflito, pois as questões controversas não podem ser resolvidas apenas com técnicas, requerem ponderações de valores sociais e éticos, e sanções políticas e econômicas.

2.5. O ensino de bioética e o livro didático

O ensino de Biologia, na maioria das vezes, é muito descritivo, distante da realidade do estudante e é, sobretudo, baseado em muita memorização (MOTOKANE, 2015). Dessa forma, o discente tem dificuldade em relacionar os termos científicos aprendidos em sala com discussões cotidianas (MOTOKANE, 2015). Outro fator relevante que se observa é a falta de alteração estrutural nos livros didáticos (LDs) que, na maioria das vezes, são divididos em capítulos com texto principal e outros adicionais e uma lista de exercícios ao final de cada capítulo (NASCIMENTO; ALVETTI, 2006).

O LD, que por diversas vezes é a principal ferramenta de muitos professores, também costuma seguir a linha descritiva, conteudista e distante da realidade de parte dos alunos. E se tratando de temas polêmicos, contemporâneos e abordados nas mídias, pouco se encontra nos LDs. Alguns livros até abordam temas contemporâneos como os da genética e da biologia molecular, por exemplo, porém, não mudam sua estrutura de texto descritivo, o que não engaja o aluno a ler. A maior parte desse tipo de conteúdo está fora da leitura do texto principal do livro, funcionando mais como um tipo de leitura complementar a título de curiosidade, se o estudante assim o desejar (NASCIMENTO; ALVETTI, 2006).

Quando se busca nos LDs questões que envolvem conhecimento prévio sobre o assunto e que originam debates, discussões e, muitas vezes, polêmicas em sala de aula, como as questões de bioética, por exemplo, poucas informações são encontradas (BADZINSKI; HERMEL, 2015; FABRÍCIO et al., 2014; OLIVEIRA; SILVA; ZANETTI, 2011). As autoras BADZINSKI e HERMEL (2015), em pesquisa e análise de LDs de Biologia, chegaram à conclusão que boa parte das coleções analisadas abordam de forma insatisfatória os conteúdos que envolvem os aspectos econômicos, patentes, exploração comercial da genética e seleção de outras espécies feitas pelo homem. A situação se agrava nos temas referentes à ciência no aumento da expectativa de vida e sobrevivência, e da ética na manipulação genética, sendo este um tipo de conteúdo que as autoras tiveram dificuldade em encontrar nos livros analisados. Vale ressaltar que todas as coleções analisadas foram aprovadas pelo Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) de 2012. Esses temas são relevantes para a sociedade e são, muitas das vezes, trazidos à tona pelos veículos de divulgação em massa. Considera-se importante abordar assuntos como esses em sala de aula, uma vez que a educação formal tem por intenção fomentar a formação cidadã, como já foi elencado nas primeiras seções desta revisão de literatura.

Pesquisa semelhante foi realizada por CHAVES e CAMAROTTI (2015) que analisaram sete LDs de sete coleções diferentes, também aprovadas pelo PNLD de 2012; os autores concluíram que apenas três livros abordavam questões éticas relacionadas à genética e criticaram a falta de questionamentos éticos ao dizerem:

[...] chama-se a atenção para o indicador “Questões éticas”, pois, atualmente, já é ciente da necessidade de um suporte ético para as pesquisas biotecnológicas atuais, principalmente pelo impacto que estas podem vir a causar na sociedade. [...] É perceptível a falta de importância que a maioria dos livros didáticos selecionados tem para com esse tema – ética – quando associado à Biotecnologia e Engenharia Genética. (CHAVES; CAMAROTTI, 2015, p.95).

Ainda segundo CHAVES e CAMAROTTI (2015), há uma predominância de textos com explicações a respeito de técnicas de manipulação do DNA. Os autores concluem sua análise indicando que apenas duas coleções apresentaram conteúdo relevante para os temas relacionados à biotecnologia e à engenharia genética. Isto considerando que todas as obras analisadas apresentavam, de alguma forma, o tema estudado.

Pode-se perceber que em muitas obras, mesmo aprovadas pelo PNLD, ainda não é dado o devido destaque às questões relacionadas à biotecnologia (FONSECA; BOBROWSKI, 2015). RAZERA e NARDI (2006) apontam até mesmo a falta de pesquisas que relacionam a Educação em Ciências com a ética e o desenvolvimento moral do indivíduo. As aplicações da

biotecnologia geram impactos na sociedade, principalmente em questões que envolvem dilemas éticos e morais, sendo necessário sua abordagem em sala de aula.

Nessa vertente, é indispensável que o professor crie ou siga metodologias que permitam o diálogo entre Ciência, Tecnologia e a Sociedade. É preciso mostrar aos estudantes que o desenvolvimento da Genética, assim como o da Ciência como um todo, faz parte de um processo histórico, sendo fruto de uma sociedade e, com isso, carrega consigo parte de sua cultura e está sujeita a modificações. TRIVELATO e SILVA (2011) defendem que o professor deve agregar em suas aulas metodologias que promovam não só a construção de competências cognitivas, mas também atividades que contribuam para o crescimento e melhoramento da formação ética, moral e cidadã do estudante.

2.6. Um panorama sobre as biotecnologias

Entendendo a Genética como a ciência biológica que estuda o genoma e a transmissão dos caracteres hereditários, a biotecnologia é todo processo tecnológico que faz uso de material biológico para o desenvolvimento de setores da sociedade humana, como a indústria farmacêutica, médica ou agropecuária. A biotecnologia, independente da área de análise, tem por objetivo elaborar e desenvolver produtos associados à qualidade de vida de forma a diminuir o tempo e o custo despendido na tarefa (VANZELA; SOUZA, 2009).

Apesar do termo biotecnologia ser de certa forma, recente, a humanidade tem buscado técnicas de produção e de aprimoramento de seres vivos desde a Antiguidade, com a produção de queijos, bebidas alcoólicas, seleção e cultivo de plantas e criação de animais. O progresso científico, especialmente na área da Engenharia Genética nos anos 80, vem permitindo às sociedades humanas aumentarem suas produções, como será brevemente descrito na próxima seção.

2.6.1. Engenharia Genética

O crescente avanço da biotecnologia é devido, entre outros fatores, ao progresso de ferramentas da Engenharia Genética. Segundo CORDEIRO (2003), a Engenharia Genética pode ser entendida como “um conjunto de técnicas de análises moleculares que permitem estudos de caracterização, expressão e modificações do material genético” (CORDEIRO, 2003, p. 9). Segundo PIERCE (2016), a engenharia genética também pode ser chamada de tecnologia do DNA recombinante e inclui diversas técnicas que são utilizadas para analisar, alterar e recombinar sequências de DNA.

As tecnologias de recombinação do DNA existem desde a década de 1980 com a manipulação de enzimas de restrição (endonucleases) e os plasmídeos bacterianos. Entretanto, eram técnicas caras e complexas (CARLI; SOUZA; PEREIRA, 2017). Há técnicas de visualização de trechos do DNA, como a eletroforese em gel, utilizada para separar moléculas de DNA tendo como referência o seu tamanho e carga elétrica. Há também meios de multiplicação de genes ou fragmentos de DNA que podem ser obtidos por meio de clonagem ou reação em cadeia de polimerase (PCR) (PIERCE, 2016).

Esses são alguns exemplos da extensa variedade de tecnologias de engenharia genética direta e reversa existente atualmente. O desenvolvimento e expansão dessas técnicas tem proporcionado a edição e recombinação de genes de espécies completamente distintas. Como consequência disso, tem possibilitado uma série de benefícios às sociedades humanas. Entre os resultados pode-se citar o melhoramento genético de plantas, fazendo-as mais resistentes a pragas, pesticidas e variações ambientais; seleção de animais que garantirão mais carne e outros subprodutos, como leite e ovos; produção de hormônios, como o do crescimento e a insulina; produção de medicamentos, fatores de coagulação e vacinas; modificação de bactérias para produção de biocombustíveis e lixiviação de minerais e tratamento de esgoto ou outros resíduos; entre outros (PIERCE, 2016).

Na área da medicina preventiva, a engenharia genética tem ajudado a fornecer diagnósticos mais precisos de doenças, tem permitido determinar predisposições a doenças como diabetes, câncer e problemas cardíacos, por exemplo. Na medicina terapêutica tem colaborado com a identificação de doenças genéticas e permitido a seleção de células germinativas para que os filhos não herdem determinadas doenças dos pais. Além disso, possibilita realizar o mapeamento genético do indivíduo recém-nascido (BARTH, 2005).

Ademais de todos os avanços com a engenharia genética, os anos 2010 viram surgir uma técnica que se mostrou das mais promissoras para um rápido avanço em edição de genomas. Na próxima seção escrevemos sobre essa técnica chamada de CRISPR/Cas9. Buscamos explicar brevemente em que consiste esse mecanismo e o motivo de sua relevância para a genética moderna.

2.6.2. A ferramenta CRISPR/Cas9

Cada espécie possui um conjunto específico de genes. Além disso, o genoma de eucariotos é muito maior que o genoma de procariotos. O genoma procarioto é composto por uma única molécula de DNA circular com alta densidade de genes que codificam proteínas

(VANZELA; SOUZA, 2009). Entretanto, o genoma desses microrganismos apresenta ainda uma porção de DNA não codificante formado por sequências de nucleotídeos curtas, palindrômicas e regularmente inter espaçadas conhecido como CRISPR, sigla em inglês para *Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats* ou Repetições Palindrômicas Curtas Agrupadas e Regularmente Inter espaçadas.

CRISPR é, assim, um locus de genomas de procariotos e um mecanismo natural do mecanismo de defesa de procariotos em defesa a invasões virais causadas por bacteriófagos. Quando bactérias e arqueias são infectadas por vírus elas são capazes, por meio de enzimas do tipo endonucleases denominadas Cas, de clivar o material genético do vírus invasor e incorporá-lo ao seu DNA. Esse mecanismo permite o registro e o reconhecimento genético do patógeno. Dessa forma, caso haja uma nova infecção pelo mesmo vírus, o procarioto pode utilizar essa informação genética para se defender do agente infeccioso (CARLI; SOUZA; PEREIRA, 2017).

As endonucleases Cas, e em específico a enzima Cas9, usada no sistema CRISPR é guiada por um RNA. Uma vez que o DNA invasor já tenha sido incorporado ao locus CRISPR, a bactéria pode sintetizar um RNA com a sequência de nucleotídeos complementar ao DNA do patógeno que servirá para direcionar a Cas9. Essa enzima cortará o DNA do vírus invasor no local específico onde o DNA viral seja complementar ao RNA guia, como mostrado na FIGURA 2 (CARLI; SOUZA; PEREIRA, 2017).

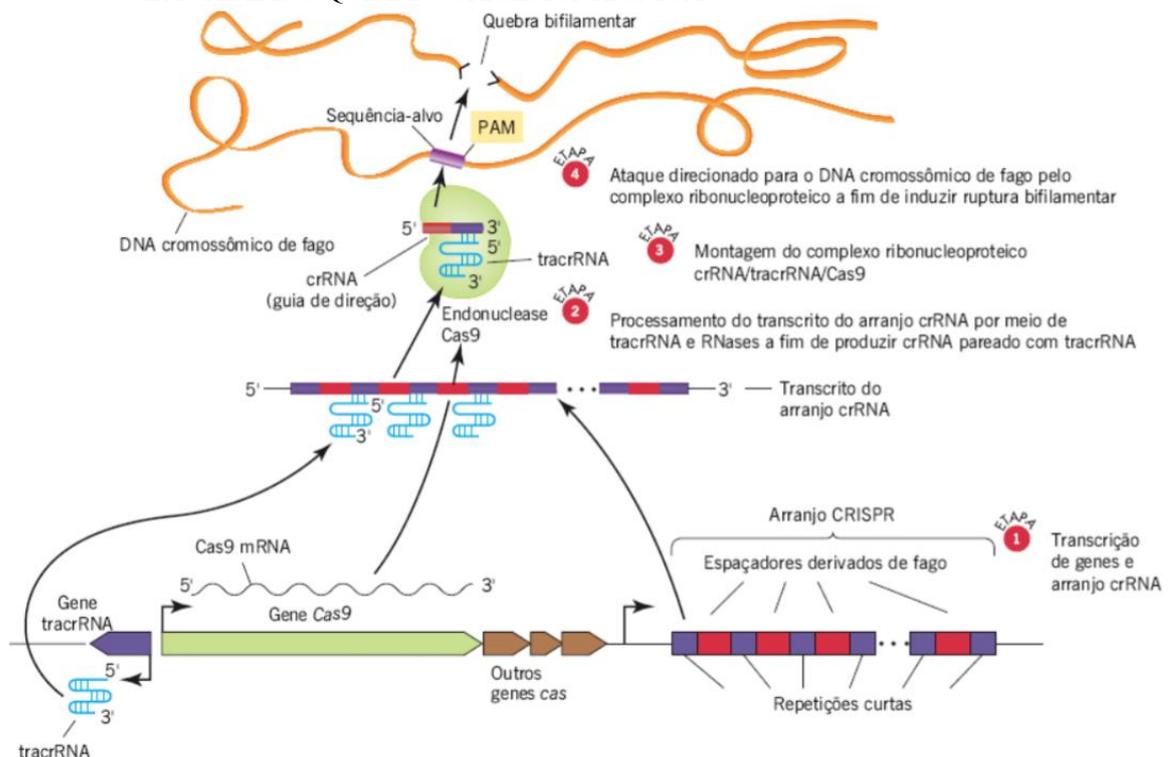
Em 2012, a parceria de dois laboratórios, coordenados por mulheres, mostrou que esse mesmo sistema baseado em um RNA guia e uma enzima de restrição poderia ser utilizado para clivar e manipular o DNA de outros seres vivos por meio do simples reconhecimento e pareamento dos nucleotídeos. Esse trabalho rendeu o Prêmio Nobel de Química em 2020 à Emmanuelle Charpentier e à Jennifer Doudna (AFP, 2020). Emmanuelle Charpentier, francesa de 54 anos, é diretora do Instituto Max Planck de Biologia de Infecções em Berlim e professora visitante na Universidade de Umea na Suécia. Jennifer Doudna, americana de 58 anos, é professora da Universidade da Califórnia em Berkeley, nos Estados Unidos. O Prêmio Nobel é considerado uma das principais condecorações mundiais de reconhecimento profissional e foi a primeira vez na história que duas mulheres ganham juntas o Nobel de Química (PINHEIRO, 2020; VALÉRIA, 2021).

O sistema CRISPR é considerado um dos maiores marcos históricos da ciência moderna. A simplicidade, facilidade e o baixo custo da ferramenta, quando comparada às técnicas

anteriores de edição gênica, fez CRISPR ganhar repercussão mundial com intensas publicações, sendo um excelente instrumento de manipulação do DNA que apresenta forte potencial para a terapia gênica e reprodutiva. Maiores detalhes são encontrados em JINEK e colaboradores (2012) e WEST; GRONVALL (2020). Considerando a facilidade e simplicidade do sistema CRISPR/Cas9, praticamente qualquer pessoa com conhecimentos básicos de biologia molecular poderia realizar uma edição genômica.

A ferramenta CRISPR é similar ao sistema imune dos procariotos. Utiliza-se basicamente das endonucleases (Cas9) e do RNA guia. A sequência de interesse (a ser modificada) é transcrita baseada na sequência do RNA guia que se liga ao DNA alvo. Esse RNA guia pode ser projetado para nortear a Cas9 para qualquer lugar do genoma. Dessa forma, uma vez administrado o complexo Cas9/RNA-guia, essa endonuclease é levada até a região do genoma que seja complementar ao RNA guia. Dado emparelhamento total dos nucleotídeos do genoma e do RNA guia, a enzima Cas9 corta (cliva) o DNA, o que resulta na quebra da dupla fita. Tal processo é letal para a célula que imediatamente inicia mecanismos naturais de reparação do material genético, como a junção de extremidades não homólogas (NHEJ) e o reparo direcionado por homologia (HDR) (CARLI; SOUZA; PEREIRA, 2017).

FIGURA 2 – SISTEMA CRISPR/CAS9. ETAPAS ENVOLVIDAS NO SISTEMA DE PROTEÇÃO BACTERIANO QUE DEU ORIGEM À TÉCNICA.



FONTE: SNUSTAD; SIMMONS (2017).

O processo de reparo HDR necessita para molde de uma molécula de DNA semelhante àquela clivada, promovendo a restauração perfeita de acordo com o molde fornecido. Já o mecanismo mais comum, o reparo NHEJ, não é perfeito, podendo ocasionar deleções de partes do DNA. Aproveitando-se dessa imperfeição, os cientistas observaram que uma nova sequência (*knock-in*) pode ser inserida no genoma, e provocar a inativação (deleção completa ou substituição de partes) do alelo (*knockout*) pré-determinado no RNA guia (CARLI; SOUZA; PEREIRA, 2017; GONÇALVES; PAIVA, 2017; WEST; GRONVALL, 2020).

Dado o grande potencial de CRISPR/Cas9 para edição gênica, faz-se necessário realizar ponderações éticas a respeito das possibilidades de aplicação dessa técnica. Com essas considerações pode-se iniciar uma discussão sobre bioética em salas de aula da Educação Básica, considerando que é um tema relevante para a sociedade e envolve controvérsias.

2.6.3. Ensino de bioética e a ferramenta CRISPR/Cas9

Entende-se bioética como uma disciplina ou uma área de estudo que surgiu da necessidade de discussão de temas morais relacionados à medicina, como o aborto, a eutanásia e, mais recentemente, os avanços científicos na área da biotecnologia e suas implicações éticas, jurídicas e sociais (BERNARDO-ÁLVAREZ, 2017; CABALLERO-HERNANDEZ; RODRÍGUEZ-PADILLA; LOZANO-MUÑIZ, 2017). Nesse sentido, a Ciência e a ética estão intimamente ligadas, pois enquanto as ferramentas biotecnológicas buscam proporcionar maior qualidade e longevidade da vida humana, os direitos no sentido ético visam a garantir a liberdade individual e coletiva ao investigar os dilemas existentes quanto à aplicação de tais ferramentas (BERNARDO-ÁLVAREZ, 2017). MARTÍNEZ *et al.* (2019) apontam para a existência de grandes complicações bioéticas na aplicação e desenvolvimento de CRISPR/Cas9, sendo preciso uma sociedade ativa para responder essas questões.

A ferramenta CRISPR/Cas9 apresenta grande potencial para ser usada em edições de células somáticas visando o tratamento de doenças, mas também pode ser aplicada em células germinativas, o que demonstra necessidade de uma análise considerando a bioética (MARTÍNEZ *et al.*, 2019). Entretanto, deve-se considerar minuciosamente as suas aplicações, uma vez que pode ter efeitos indesejados relacionados à saúde, à ética e à sociedade (BAUMANN, 2016). Assim como BAUMANN (2016), CRIBBS e PERERA (2017) relatam o temor pelo surgimento de um novo tipo de eugenia, pois com esse sistema é possível alterar praticamente qualquer alelo, o que poderia ocasionar a supressão ou até a extinção de algumas dessas variações.

Dessa forma, pode-se perceber que a Ciência contribui para moldar o pensamento humano, permitindo o progresso da agricultura, da saúde e do meio ambiente (BERNARDO-ÁLVAREZ, 2017). No entanto, pode ocasionar impactos ambientais e sociais que devem ser devidamente analisados do ponto de vista ético. BAUMANN (2016) afirma que sempre haverá questões éticas a serem discutidas e aponta para a importância de um amplo debate entre as diferentes esferas da sociedade.

Nesse sentido, os veículos de divulgação têm produzido diversas matérias sobre CRISPR/Cas9. Não só relatam aspectos positivos da técnica, como a cura para doenças, por exemplo, mas também descrevem a ferramenta como um tipo de experimento que pode acabar com a identidade humana, pois pode ocasionar efeitos colaterais indesejados e estes efeitos serem passados às gerações futuras (BAUMANN, 2016).

Considerando o potencial bioético de CRISPR/Cas9, é possível utilizá-lo como um meio para se discutir as aplicações das biotecnologias de edição de genes nas aulas do Ensino Médio. Deste modo, o docente estará promovendo maior interação do estudante com as inovações científicas e tecnológicas que permeiam o seu dia-a-dia (SCARPA; SILVA, 2013), o que corrobora com os anseios e recomendações de entidades internacionais, como UNESCO (2005), ao abordar a necessidade de formação científica do cidadão:

[...] o ensino de Ciências é fundamental para a população não só ter a capacidade de desfrutar dos conhecimentos científicos e tecnológicos, mas para despertar vocações, a fim de criar estes conhecimentos. O ensino de Ciências é fundamental para a plena realização do ser humano e a sua integração social. Continuar aceitando que grande parte da população não receba formação científica e tecnológica de qualidade agravará as desigualdades do país e significará seu atraso no mundo globalizado. Investir para constituir uma população cientificamente preparada é cultivar para receber de volta cidadania e produtividade, que melhoram as condições de vida de todo o povo. (UNESCO, 2005, p.2)

Ainda em concordância com os autores citados nesta seção e com REIS e GALVÃO (2005), acreditamos que uma sociedade avançada e educada cientificamente, com indivíduos verdadeiramente cidadãos, exercendo o seu papel na democracia, somente será possível se for permitido a esses sujeitos a compreensão da ciência e de suas interações com a tecnologia, a sociedade e o ambiente. Portanto, reiteramos que a bioética se constitui um instrumento de ensino e aprendizagem de temas controversos e contemporâneos, pois promove a socialização do debate de assuntos tecnocientíficos, como o CRISPR/Cas9, por exemplo, o que a constitui também como um modelo de exercício de cidadania, considerando que estimula o diálogo entre a Ciência, a Tecnologia, a Sociedade e o Meio Ambiente (SILVA, 2003; SILVA; KRASILCHIK, 2013).

3. OBJETIVO GERAL

O presente trabalho teve por objetivo desenvolver uma sequência didática com abordagem CTSA e viés investigativo sobre Bioética, fazendo uso da ferramenta CRISPR/Cas-9 de edição do DNA como um meio para que os estudantes do ensino médio possam relacionar suas aplicações na biologia molecular com os seus respectivos impactos na sociedade, a fim de contribuir para uma aprendizagem efetiva e fomento da formação cidadã.

3.1. Objetivos específicos

- Apresentar uma proposta de sequência didática pautada na abordagem CTSA e no Ensino de Ciências por Investigação sobre bioética que estimule o protagonismo e a autonomia dos estudantes.
- Elaborar questionário para sondagem de concepções prévias dos discentes sobre conceitos relacionados à genética e à biologia molecular.
- Construir estudos de caso que envolvam situações-problema quanto à edição de genes de forma a subsidiar uma reflexão sobre os impactos que uma mudança genética pode causar na vida do indivíduo e da comunidade.
- Implementar a sequência didática com estudantes do ensino médio engajando e estimulando sua participação em questões relacionadas à bioética da manipulação do DNA.
- Analisar as respostas dos estudantes diante de temas controversos.
- Construir um produto educacional na forma de sequência didática que contribua para o trabalho docente na disciplina de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, colabore com a discussão de temas controversos em sala de aula e favoreça a aprendizagem efetiva e a formação cidadã dos educandos.

4. MATERIAL E MÉTODOS

Nossa motivação inicial com esta pesquisa foi desenvolver um trabalho que não apenas fornecesse formas de ensinar os conteúdos de biologia, mas que antes disso, contribuísse para a formação crítica e cidadã dos nossos estudantes. Sendo este um trabalho inserido no Mestrado Profissional em Ensino de Biologia, além desta dissertação produziu-se uma sequência didática (SD) que, como se verá, envolveu a discussão de situações-problema que abordavam a ética sobre a edição de genes humanos (ver APÊNDICE G).

Mantendo foco na formação cidadã, começou-se a pensar quais seriam os assuntos de Biologia que poderiam ser utilizados para tal propósito. Segundo KRASILCHIK (2004), definir o que abordar e como se pretende trabalhar os conteúdos é um dos maiores questionamentos dos professores de biologia, e para nós não foi diferente.

Nesse sentido, nosso primeiro passo foi definir o público-alvo e, posteriormente, definir o conteúdo a ser abordado de acordo com o planejamento do Currículo de Referência de Minas Gerais. Em 2020, quando estávamos trabalhando com estudantes da 3ª série do ensino médio, a professora-pesquisadora definiu a genética como tema central da pesquisa. Então, o próximo passo foi definir o assunto dentro do ensino de genética que poderia contribuir para formação crítica dos discentes.

Para isso, iniciamos a nossa intensa revisão da literatura e constatamos que o ensino de bioética trazia a discussão crítica que se desejava, mas que muitas vezes era negligenciado pelos livros didáticos e por professores, por causar grandes debates e polêmicas (BADZINSKI; HERMEL, 2015; FABRÍCIO et al., 2014; TRIVELATO; SILVA, 2011). Nesse contexto, definimos que abordaríamos a bioética no ensino de genética.

Nossa revisão de literatura também revelou que aborto e uso de células tronco eram alguns dos temas mais abordados no ensino de bioética. Não desmerecemos a importância da discussão desses temas, mas o nosso objetivo era construir e aplicar uma SD que abordasse um tema recente e contemporâneo e que esse produto pudesse ser compartilhado com outros professores. Pensando nisso, a professora-pesquisadora lembrou da aula de Ensino de Genética de um curso de especialização em que participou como aluna cujo tema foi CRISPR/Cas-9. Estudando a aplicabilidade dessa técnica e, tendo assistido a um documentário sobre o assunto, decidiu-se que este seria um tema relevante para se abordar bioética.

Com essas ideias em mente, logo que as aulas do Mestrado ProfBio começaram, a professora-pesquisadora entrou em contato com a professora Dra. Adlane Vilas-Boas, que apresenta vasto repertório de trabalhos envolvendo divulgação científica e ensino de genética, expressando o seu anseio em tê-la como orientadora deste trabalho. Cerca de duas semanas depois, a pandemia de Covid-19 se instaurou e foi necessário planejar o desenvolvimento da SD de forma que talvez pudesse ser executada no formato remoto. No entanto, como se verá, devido à extensão de prazo para conclusão do trabalho foi possível que a SD fosse utilizada no ensino presencial em 2022.

4.1. Caracterização do estudo

O trabalho foi realizado em uma escola pública da rede estadual de Minas Gerais, localizada na região norte de Belo Horizonte. A escola atende em torno de 1500 alunos ao longo dos três turnos, desde o 1º ano do Ensino Fundamental até a 3ª série do Ensino Médio. No período da manhã, turno escolhido para a pesquisa, a escola atende 17 turmas, sendo classes dos anos finais do Ensino Fundamental (três turmas do 8º ano e três do 9º ano) e Ensino Médio, com quatro turmas de 1ª série, quatro de 2ª e três de 3ª série.

Cerca de 40 estudantes da 1ª série do Ensino Médio foram convidados a participar da pesquisa. A participação se deu com o consentimento dos estudantes bem como assentimento dos responsáveis por meio do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) e Termo de Assentimento livre e Esclarecido (TALE), presentes nos Apêndices A e B. A classe foi escolhida por apresentar estudantes engajados e participativos nas aulas. A turma, de maneira geral, se mostrou madura, politizada e comprometida em cumprir as tarefas propostas.

Dos 40 estudantes convidados, apenas 25 assinaram o TCLE e o TALE, sendo os que participaram efetivamente da pesquisa que foi desenvolvida na disciplina de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, disciplina de aprofundamento das áreas da Biologia, Física e Química. Essa disciplina faz parte do Itinerário Formativo, que contém novas disciplinas incluídas no ensino médio de acordo com as diretrizes da BNCC. Considerando que o desenvolvimento de nossa sequência didática requer conhecimentos da Biologia e da Química, optou-se por desenvolver a sequência didática nesta disciplina e devido ao destaque que a bioética apresenta nesta unidade curricular de acordo com o planejamento anual de aulas do estado de Minas Gerais (MINAS GERAIS, 2022). A proposta deste componente curricular é, justamente, abordar questões controversas e socio-científicas de modo investigativo e interdisciplinar.

O produto (sequência didática) foi desenvolvido tendo como concepção contribuir para a formação cidadã dos participantes por meio de discussões sobre situações-problema de um tema controverso. Os casos escolhidos explicitavam o uso de biotecnologias da genética como manipulação do DNA humano e envolvia uma postura ética para sua resolução. O fomento à discussão foi feito com algumas perguntas solicitando que informassem qual seria a sua postura diante de situações como as retratadas. Os casos e as perguntas se encontram no Apêndice D desta dissertação.

Visando um embasamento teórico, durante todo o desenvolvimento do trabalho foram realizadas pesquisas por artigos científicos em bases de dados, como Google Acadêmico©,

Elsevier©, SciELO© e portal de periódicos CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior). Estes referenciais possibilitaram, assim, embasar a construção crítica do produto de nosso trabalho bem como as discussões decorrentes das análises das falas durante a execução da sequência didática (APÊNDICE G) com a turma escolhida.

4.2. Método de pesquisa

De acordo com FLICK (2013) e GERHARDT e SILVEIRA (2009), a pesquisa qualitativa não almeja focar em muitos indivíduos, mas sim promover o melhor entendimento da dinâmica do grupo pesquisado. A pesquisa envolveu a análise das respostas dos estudantes em uma abordagem amplamente qualitativa, ainda que o questionário de checagem de conhecimentos prévios tenha sido avaliado quanto aos números de respostas de cada item.

No que concerne à pesquisa qualitativa, buscamos analisar mais do que as produções textuais dos estudantes; discutimos as implicações sociais que tem o tema bioética para os discentes (GOMES, 2016). Para analisar as respostas escritas dos estudos de caso, usamos a análise temática de BARDIN (1977, p. 105). De acordo com a pesquisadora “o tema é a unidade de significação que se liberta naturalmente de um texto analisado segundo certos critérios relativos à teoria que serve de guia à leitura”. Nesse sentido, a análise temática “consiste em descobrir os ‘núcleos de sentido’ que compõem a comunicação e cuja presença, ou frequência de aparição podem significar alguma coisa para o objetivo analítico escolhido” (BARDIN, 1977, p. 105). Segundo BAUER e GASKELL (2002), a análise de conteúdo é “um método de análise de texto desenvolvido dentro das ciências sociais empíricas”. Sendo assim, a análise de conteúdo é uma técnica que nos permite interpretar o texto e o contexto das informações, dos pensamentos e emoções dos participantes.

Fizemos uso especificamente do método de interpretação de sentidos de GOMES e colaboradores (2005), adaptado da análise de conteúdo clássica de Bardin (1977). Segundo os autores, trata-se de um “caminho de análise de significados dentro de uma perspectiva das correntes compreensivas das ciências sociais que analisa: (a) palavras; (b) ações; (c) conjunto de inter-relações; (d) grupos; (e) instituições; (f) conjunturas, dentre outros corpos analíticos” (GOMES *et al.*, 2005, p. 202). Os autores, em sua pesquisa, buscaram extrair a ideia trazida embutida nas respostas dadas pelos participantes do Programa Cuidar e, posteriormente, as categorizaram e analisaram. De forma semelhante, buscamos identificar o sentido ou a ideia por detrás das respostas dos nossos estudantes participantes diante das situações colocadas nos estudos de caso que envolviam a edição de genes humanos. Dentro da proposta de

categorização, esperávamos encontrar respostas que remetessem a valores científicos, religiosos, morais e sociais.

Os dados para as análises da pesquisa foram coletados em forma de áudio durante algumas atividades da sequência (aulas 2, 3, 6 e 7) e forma escrita das respostas dadas aos questionários e estudos de caso (aula 1). Apenas as respostas dos estudos de caso foram transcritas e submetidas à análise de conteúdo, conforme metodologia explanada nos parágrafos anteriores. Todas as demais atividades da SD foram gravadas em forma de áudio para facilitar a organização das ideias trazidas pela professora-pesquisadora, para posterior discussão; não realizamos qualquer transcrição dos áudios coletados.

4.3. Produto proposto: sequência didática

De acordo com CARVALHO (2013), para que os alunos sejam alfabetizados cientificamente é aconselhável que as aulas sejam organizadas em sequências de ensino. Para ZABALA (1998), uma sequência didática é “um conjunto de atividades ordenadas, estruturadas e articuladas para a realização de certos objetivos educacionais, que têm um princípio e um fim conhecidos tanto pelos professores como pelos alunos”. PECHLIYE (2018) defende que sequências didáticas podem atuar como facilitadoras de aprendizagem, promovendo o diálogo entre os diferentes componentes curriculares, diminuindo a fragmentação e aumentando a contextualização. Assim, concordando com os autores citados, estruturamos uma sequência didática com abordagem CTSA e com viés investigativo estabelecendo uma conexão entre a biologia e as ciências sociais.

Na construção da SD buscou-se trazer elementos para se explicar e se fazer compreender a ferramenta CRISPR/Cas9 e promover uma discussão dos processos à luz da bioética. A SD destina-se a estudantes de todas as séries do Ensino Médio, embora tenha sido apresentada a estudantes da 1ª série nesta pesquisa. Usando como referência a BNCC, aconselhamos a aplicação dessa SD na 1ª ou 3ª série do Ensino Médio, pois nelas os conceitos de genética e biologia molecular são abordados com maior ênfase, podendo contribuir para o engajamento dos estudantes durante os momentos de discussão.

No QUADRO 1 é mostrada a organização inicialmente proposta para as atividades em cada aula. Como se verá, modificações foram feitas para se adequar às necessidades da classe (ver em QUADRO 2 e APÊNDICE G).

QUADRO 1 – RESUMO DAS ATIVIDADES PLANEJADAS

Aula	Atividades planejadas
1ª	Aplicação do questionário e dos estudos de caso

2ª	Detecção de conhecimentos prévios e discussão dos estudos de caso Avaliação da postura ética dos estudantes
3ª	Revisão dos conceitos de genética e biologia molecular apresentados na primeira e segunda aula
4ª	Leitura, interpretação e discussão dos materiais fornecidos
5ª	Discussão sobre ética e documentário sobre edição de genes
6ª	Discussão em grupo dos argumentos levantados Apresentação dos argumentos dos grupos para a turma
7ª	Júri simulado sobre a edição de genes em humanos
8ª	Segunda aplicação do questionário e dos estudos de caso Avaliação da sequência didática

Fonte: A autora (2022).

Gostaríamos de ressaltar, dentre as atividades listadas no quadro anterior, a base referencial para os questionários e estudos de caso da aula 1. A construção do questionário sobre conceitos da genética e biologia molecular (APÊNDICE C) foi baseada na literatura existente, como o descrito no livro didático de autoria de PIERCE (2016), no artigo de SILVEIRA e AMABIS (2003). Já os casos relatados e os estudos de casos (APÊNDICE D) foram adaptados do livro *Genética: escolhas que nossos avós não faziam*, de Mayana Zatz (ZATZ, 2011). Os questionários e estudos de caso foram fotocopiados e disponibilizados para os estudantes responderem em sala de aula (50 minutos). Estes últimos continham quatro questões em que foram relatadas situações-problema de casos fictícios envolvendo edição de genes em humanos. Essas questões deveriam ser respondidas pelos estudantes de forma discursiva e argumentativa. Já o questionário sobre conceitos da genética foi composto por 11 questões, sendo: seis questões de múltipla escolha com quatro alternativas cada; quatro questões de afirmações em que os discentes deveriam assinalar “verdadeiro” ou “falso”; e, uma questão, em formato de tabela, em que os participantes deveriam associar a presença ou não de cromossomos, genes e DNA nas células listadas. O questionário e os estudos de caso podem ser verificados nos Apêndices C e D deste trabalho.

4.4. Aspectos éticos

A pesquisa teve por objetivo primordial respeitar a autonomia e liberdade dos participantes, orientando-se pelas diretrizes e normas das resoluções éticas vigentes, a CNS 466/2012 e a CNS 510/2016. O trabalho em questão foi inserido por meio de uma emenda ao projeto já existente intitulado ‘Ensino de Genética, conceitos e aprendizagem’, submetido em fevereiro de 2021 e aprovado em abril do mesmo ano com o CAAE de número 88856618.6.0000.5149 e parecer de número 4.635.914.

Ressaltamos que foi facultativa a participação dos estudantes. Não foram associados à nossa pesquisa nenhum tipo de pontuação ou qualquer outra relação com a aprovação na disciplina de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, o que garantiu a total liberdade de escolha de participação. Explicamos a todos os discentes da 1ª série do Ensino Médio da instituição a qual se destina essa pesquisa todas as informações quanto à natureza da pesquisa, como os objetivos, metodologia, benefícios e possíveis incômodos que lhes poderiam ocorrer. Os responsáveis legais pelos estudantes receberam todas as informações pertinentes e decidiram sobre a participação dos alunos através da assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) e a anuência dos discentes foi coletada pelo Termo de Assentimento Livre e Esclarecido (TALE).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No QUADRO 2 pode-se visualizar a proposta de planejamento da SD e os objetivos de ensino de cada atividade. Planejamos desenvolver a SD com estudantes da 1ª série no contexto da disciplina de Ciências da Natureza e suas Tecnologias. Vimos nesta disciplina a possibilidade de maior flexibilização e diálogo sobre bioética com o componente curricular de disciplinas do novo ensino médio.

Apresentamos a seguir os detalhes de como aplicamos nossa SD e as discussões que fizemos com base na revisão da literatura.

QUADRO 2 – RESUMO DAS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS EM CADA AULA

Aula	Atividades desenvolvidas	Objetivos de ensino
1ª	Aplicação do questionário e dos estudos de caso	Verificar os conhecimentos prévios
2ª	Discussão dos conceitos de genética e biologia molecular	Deteção de conhecimentos prévios sobre os conceitos apresentados no questionário

3 ^a	Revisão dos conceitos de genética e biologia molecular apresentados na primeira e segunda aula	Percepção e resolução de dúvidas; Consolidação dos conceitos de genética e biologia molecular
4 ^a	Discussão dos estudos de caso e discussão sobre CRISPR/Cas9 Leitura, interpretação e discussão dos materiais fornecidos	Propor a reflexão dos impactos que uma mudança genética pode causar na vida do indivíduo e da comunidade Avaliar a postura ética dos estudantes Engajar e estimular participação dos estudantes em questões que envolvam a bioética em sala de aula
5 ^a	Discussão sobre CRISPR/Cas9 Discussão sobre ética e documentário sobre edição de genes	Discutir dúvidas sobre CRISPR/Cas9 Promover a construção do pensamento ético por meio da discussão da técnica CRISPR/Cas9 de edição genética Propor a reflexão dos impactos que uma mudança genética pode causar na vida do indivíduo e da comunidade
6 ^a e 7 ^a	Discussão em grupo dos argumentos levantados em grupo Apresentação dos argumentos dos grupos para a turma	Trabalhar a argumentação e a capacidade de síntese das informações Engajar e estimular participação dos estudantes em questões que envolvam a bioética em sala de aula Avaliar a evolução da construção do pensamento crítico dos discentes diante de questões bioéticas
8 ^a e 9 ^a	Proposição e construção do júri simulado	Trabalhar a argumentação e a capacidade de síntese das informações Estimular o protagonismo estudantil Engajar e estimular participação dos estudantes em questões que envolvam a bioética em sala de aula Propor a reflexão dos impactos que uma mudança genética pode causar na vida do indivíduo e da comunidade
10 ^a	Júri simulado sobre a edição de genes em humanos	Divulgar o conhecimento produzido Trabalhar a argumentação e a capacidade de síntese das informações Estimular o protagonismo estudantil Engajar e estimular participação dos estudantes em questões que envolvam a bioética em sala de aula Propor a reflexão dos impactos que uma mudança genética pode causar na vida do indivíduo e da comunidade

Fonte: A autora (2022).

5.1. Atividades desenvolvidas na Sequência Didática

5.1.1. Aula 1 e 2 – Aplicação do questionário, estudos de caso e discussão do questionário

Na primeira aula aplicou-se presencialmente um questionário de sondagem acerca dos conhecimentos prévios dos estudantes. Solicitamos a eles que, individualmente, respondessem ao questionário. Nesta mesma ocasião foi solicitado que analisassem quatro questões com

diferentes casos/situações problema que se encontravam no verso da folha em que estavam as questões do questionário (APÊNDICES C e D). Buscamos com o questionário abordar termos e conceitos básicos da genética e da biologia molecular, tais como: ácido desoxirribonucleico (DNA), cromossomo, mutação, transcrição, tradução, alelos, genótipo e fenótipo. Esses conceitos são relevantes para compreensão das biotecnologias modernas de edição de genes, tema abordado em nossa pesquisa. TEMP e BARTHOLOMEI-SANTOS (2014) também afirmam que o aprendizado desses conceitos é importante para entendimento da genética na sociedade. Já as questões para estudos de caso, continham situações familiares e médicas que envolviam decisões técnicas e éticas sobre aplicação de tecnologias em determinadas doenças.

Nosso objetivo na segunda aula foi comentar as respostas do formulário a fim de verificar os conhecimentos trazidos para contribuir com a promoção de uma unidade entre os participantes e engajá-los a participar ativamente das discussões das tarefas. Procuramos dialogar sobre os conceitos com eles à medida que os termos surgiam no decorrer das questões.

Durante a discussão sobre os conceitos, buscamos não informar aos educandos a resposta correta para o questionário. Em vez disso, indagamo-los durante todo o processo para que tentassem explicar o que entendiam de cada conceito; ademais, não devolvemos o questionário corrigido aos participantes. Não foi nossa intenção durante o processo avaliar os erros ou acertos dos discentes. No nosso ponto de vista, o mais importante foi, por meio da conversa, verificar o que se apresentava como conhecimentos prévios na turma para caso necessário, realizar as devidas intervenções na aula seguinte.

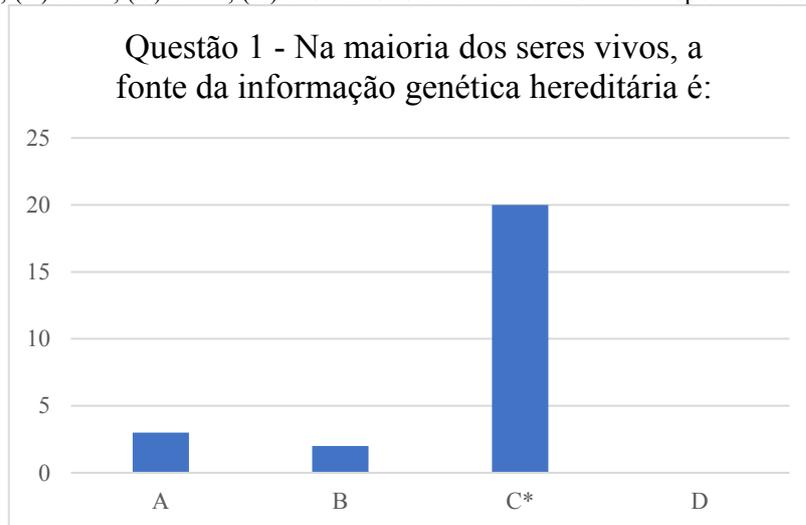
Para nossa análise, realizamos contagem de respostas de cada item do questionário que estão representadas em gráficos individuais para cada questão. Todos os estudantes participaram da primeira aula e entregaram suas respostas. Contudo, houve questões que não foram respondidas. Nas próximas seções apresentaremos as análises quantitativas das respostas dos alunos juntamente com a discussão dos nossos resultados.

5.1.1.1. Análise das respostas da questão 1 – DNA como fonte da informação genética hereditária

Com a primeira questão procuramos identificar se os estudantes apresentavam conhecimento acerca do DNA enquanto molécula responsável pela transmissão de caracteres herdáveis. Conforme pode-se verificar no GRÁFICO 1, a maioria dos estudantes associou corretamente que a molécula de DNA é a fonte da informação genética hereditária na maioria dos seres vivos.

Acreditamos que parte desse resultado é devido à ideia de DNA como informação genética hereditária pertencer ao senso comum. Faz parte do cotidiano de muitos discentes a veiculação nos noticiários e programas de TV aberta os chamados “Testes de paternidade” em que se fala de exames de DNA. Resultado semelhante foi encontrado por SILVA; VIANA; JUSTINA (2021), em que 10 dos 32 alunos participantes associaram o DNA como uma molécula herdada dos pais. Outro dado encontrado pelas autoras é o fato de os estudantes compreenderem o DNA como material genético.

GRÁFICO 1 – Distribuição quanto à frequência de respostas dadas pelos estudantes na questão 1. (A) Célula; (B) RNA; (C) DNA; (D) Proteínas. O item em asterisco corresponde à resposta correta



Fonte: A autora (2022).

Durante a discussão da questão perguntou-se aos discentes o que eles entendiam por DNA. Nas respostas iniciais, eles atribuíram todas as nossas características à molécula de DNA. O estudante A08 leu um trecho de suas anotações pessoais da aula de Biologia dizendo que “o DNA é a capacidade dos indivíduos de transmitir seu material genético aos seus descendentes”. O estudante A22 complementou a fala da colega estabelecendo uma comparação entre o DNA e o RNA, afirmando que o DNA é mais complexo que o RNA, sendo este formado por apenas uma fita simples, enquanto o DNA é formado por uma dupla fita em formato de hélice. A estudante mostra a comparação clássica das duas moléculas encontradas em livros didáticos e outras fontes de pesquisa.

Quando lhes foi perguntado sobre o que eles entendiam por RNA, novamente os estudantes trouxeram a resposta do estudante A22, mencionada no parágrafo anterior, sobre a comparação entre as duas moléculas de ácidos nucleicos. O estudante A08, buscou em seus materiais e complementou que o DNA se encontra no núcleo celular, enquanto o RNA é produzido no núcleo celular. Esses resultados corroboram com a pesquisa realizada por

SANTOS e colaboradores (2021) que, entrevistando discentes da 3ª série do Ensino Médio, pôde concluir que 74% dos participantes apresentavam conhecimentos prévios sobre a estrutura do DNA.

O termo ‘célula’ era uma das opções e um dos conceitos abordados no exercício. Ao questionar os discentes sobre o que significava esse conceito, o aluno A13 disse ser a unidade que forma o corpo dos seres vivos. O estudante A17 complementou dizendo que “nós somos um conjunto de células”.

O estudante A08 novamente participou completando que existem dois tipos de célula: célula procarionte e célula eucarionte. O aluno A17 lembrou que estudou juntamente com a professora-pesquisadora esses conceitos no 7º ano do Ensino Fundamental. Os estudantes ainda complementaram dizendo que um tipo de célula tem núcleo e o outro tipo não apresenta núcleo celular, mas não souberam explicar associando os termos. Nesse momento, os discentes também lembraram os conceitos de ‘unicelular’ e ‘pluricelular’.

Dessa forma, pôde-se perceber que os discentes apresentavam concepções prévias sobre o conteúdo de biologia celular e noção das dimensões microscópicas das células. Esses resultados são semelhantes aos encontrados por VIGARIO e CICILLINI (2019) onde as análises de questionários contendo questões discursivas e de múltipla escolha, respondido por estudantes das três séries do ensino médio, também demonstraram resultados positivos quanto ao conhecimento prévio de citologia.

Posteriormente, logo após a fala de A17, o aluno A04 perguntou se há DNA na célula ou se há célula no DNA. Optou-se por devolver esse questionamento à classe. Os estudantes A08 e A22 afirmaram se tratar da primeira opção, pois “as células se reproduzem e reprodução é transmitir o material genético aos descendentes, então a célula tem DNA”. Inconsistências na compreensão de conceitos relacionados a citologia por parte de alguns participantes também foram encontradas por VIGARIO e CICILLINI (2019), como a visão equivocada de que células são substâncias que compõem o corpo dos seres vivos. Entender com clareza os termos da citologia, genética e da biologia molecular requer dos discentes a capacidade de abstração e imaginação que muitos deles ainda não possuem ao ingressarem no Ensino Médio. A utilização de modelos didáticos para complementar o estudo de citologia pode ser uma forte aliada no ensino-aprendizagem dessa disciplina. SOUSA; OLIVEIRA e VIEIRA (2021), que trabalhando com estudantes da 1ª série do ensino médio onde foram confeccionados modelos de tipos

celulares, encontraram resultados positivos após utilizar jogos e modelos didáticos como complementação de suas aulas.

Sobre o conceito de proteína, os estudantes afirmaram ser um tipo de nutriente presente na nossa alimentação, importante para a nossa saúde e que trazem benefícios para quem faz dieta. Alguns discentes complementaram dizendo se tratar de um nutriente encontrado no interior da célula e fora dela. Entretanto, em nenhum momento conseguiram relacionar as proteínas aos demais conceitos abordados, relacionados à biologia molecular ou à genética.

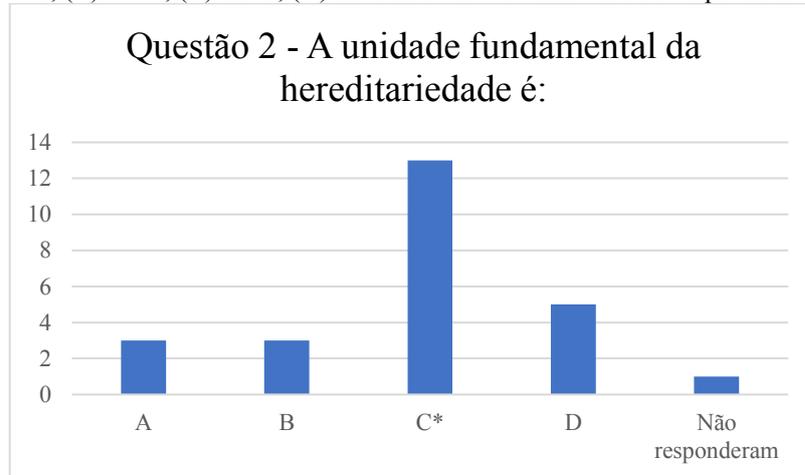
Dessa forma, observou-se que os participantes trouxeram consigo conhecimentos sobre proteínas relacionados à linguagem cotidiana. Essa visão de proteínas, baseada no senso comum, também foi encontrada por CARVALHO; COUTO e BOSSOLAN (2012), e FIGUEIRA; ROCHA (2016).

5.1.1.2. Análise das respostas da questão 2 – O gene como unidade fundamental da hereditariedade

Em relação à segunda pergunta quanto à unidade fundamental da hereditariedade, percebe-se maior variação nas respostas, como pode-se verificar no GRÁFICO 2. Três estudantes associaram esse conceito a cromossomo, três ao DNA, treze ao gene; cinco à célula e um não respondeu.

Perguntou-se sobre o que os discentes entendiam por cromossomo, o conceito abordado na primeira alternativa da questão. Inicialmente percebeu-se que eles não o relacionavam ao DNA. O estudante A04 questionou se há cromossomos na célula. Outro estudante, A13, complementou dizendo que a espécie humana tem 46 cromossomos ou 23 pares, se referindo ao conceito de cariótipo. O participante A08 afirmou que os cromossomos carregam informação genética. Um quarto aluno, A22, complementou que se trata de um conceito relacionado ao DNA e à hereditariedade.

GRÁFICO 2 – Distribuição quanto à frequência de respostas dadas pelos estudantes na questão 2. (A) Cromossomo; (B) DNA; (C) Gene; (D) Célula. O item em asterisco corresponde à resposta correta



Fonte: A autora (2022).

O estudante A08 seguiu acrescentando que os cromossomos são responsáveis por carregar as características que definem o sexo biológico dos indivíduos, se referindo aos cromossomos X e Y dos animais. A dificuldade em diferenciar os conceitos de DNA, gene e cromossomo também foi detectada por PAIVA e MARTINS (2005). Os resultados das autoras, dado ao questionário por estudantes da 3ª série do ensino médio, indicaram que mais da metade dos pesquisados relacionavam os cromossomos sexuais apenas às estruturas e/ou células reprodutivas e que a informação genética é a mesma em todas as células do organismo. Também perceberam dificuldade em questões que envolviam a funcionalidade do material genético, apresentando uma visão funcionalista quanto à constituição do genoma. SILVA; VIANA e JUSTINA (2021), em pesquisa realizada com estudantes da 2ª série do ensino médio em que eles produziram mapas mentais que foram analisados e categorizados conforme a análise de conteúdo de BARDIN (1977), mostrou que muitos estudantes também relacionam o conceito de cromossomo apenas aos cromossomos sexuais, como também dito pelo nosso estudante pesquisado A08. Alguns estudantes também apresentavam conceitos vagos e concepções alternativas quanto ao conceito de gene.

Sobre os genes, os discentes afirmaram ser algo que determina as características dos seres vivos e ser um conceito relacionado à genética e ao DNA. O participante A06, para justificar que gene determina as características do ser vivo, usou como exemplo os comentários que o seu professor de biologia fez durante as aulas sobre casos de casamentos consanguíneos em que os filhos apresentam mais chance de desenvolver doenças presentes na família, como os casos hemofilia entre os membros da família da rainha Victória (1819-1901).

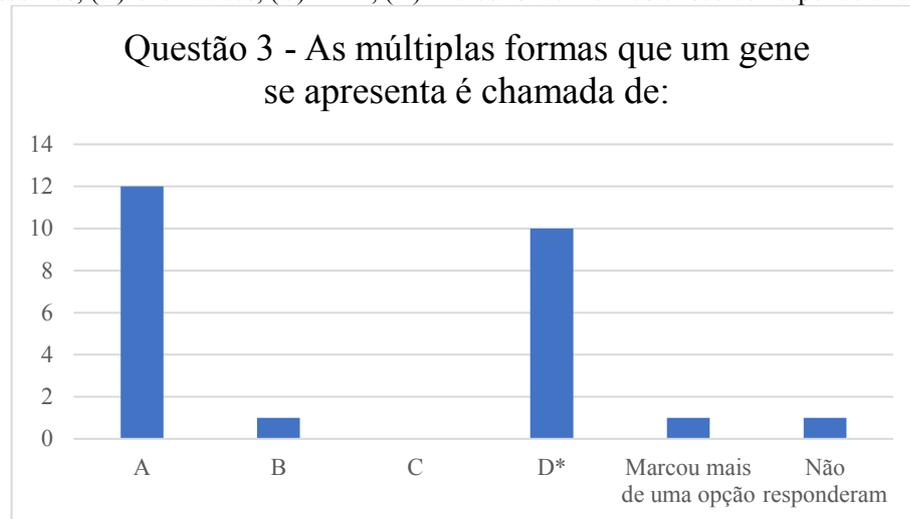
Após essa justificativa, os estudantes chegaram à conclusão de que os genes estão relacionados à transmissão de informação genética. O aluno A08 ainda complementou que o gene é uma parte do DNA. SILVA *et al.* (2014), também perceberam dificuldades nos discentes em conceituar o gene. Os resultados da pesquisa desses autores mostram que os estudantes que ingressam na universidade apresentam deficiência em compreender o conceito de gene. CID e NETO (2005) relatam que parte dessa dificuldade de relação entre DNA, gene e proteína pode estar relacionada à falta de experiências cotidianas para a construção desses significados. Sendo assim, podemos supor que parte da dificuldade dos nossos estudantes em estabelecer a relação desses conceitos também se deve à falta de contato com conteúdo acadêmico que auxilie na compreensão e vivência desses conceitos. Entretanto, a discussão com a classe nos reforça a importância da construção do conhecimento em grupo e da investigação. Segundo ZÔMPERO e LABURÚ (2011), atividades que envolvem investigação proporcionam desenvolvimento do raciocínio, da cognição e da cooperação. Apesar de toda dificuldade em conceituar o termo, a participação dos estudantes e o fato de não lhes darmos as respostas prontas lhes permitiu a organização de seus pensamentos e falas de modo a construir um conhecimento de forma colaborativa.

Ressalta-se que este questionário teve como propósito a detecção de conhecimentos prévios. O GRÁFICO 2 nos evidencia que o conceito de gene ainda é confuso para os estudantes e requer deles alto grau de abstração para sua real compreensão. Além disso, é um fato, de longa data, que até mesmo os livros didáticos trazem conceitos que geram erro de entendimento, como mostrado no trabalho de VILAS-BOAS (2005) que identificou em estudantes recém-chegados à Universidade a existência de erros conceituais. Esses conceitos, estudados de forma incorreta, fazem com que os discentes levem esses conceitos errôneos para o resto da sua vida acadêmica. SILVA *et al.* (2014), em pesquisa com estudantes recém-chegados à universidade pôde constatar que a maioria deles entendem gene como “um ‘pedaço’ de DNA responsável pelas características individuais como cor do cabelo e dos olhos” (SILVA, et al., 2014, p. 29).

5.1.1.3. Análise das respostas da questão 3 – Alelos

Durante a aplicação do questionário foi possível verificar que alguns estudantes não souberam responder à questão 3. Muitos estudantes diziam “não fazer ideia” da resposta, o que se evidencia no GRÁFICO 3. 12 estudantes associaram ao cromossomo as múltiplas formas de um gene; um associou às cromátides; 10 relacionaram a alelo; um não respondeu à questão e um marcou mais de uma opção no gabarito.

GRÁFICO 3 – Distribuição quanto à frequência de respostas dadas pelos estudantes na questão 3. (A) Cromossomos; (B) Cromátides; (C) DNA; (D) Alelos. O item em asterisco corresponde à resposta correta



Fonte: A autora (2022).

Questionados inicialmente sobre os conceitos de cromátide e alelos, apresentados nas alternativas “B” e “D”, respectivamente, nenhum estudante soube responder. Todos solicitaram a professora para preparar uma aula que abordasse esses termos, pois segundo eles, não faziam ideia do que seriam.

Posteriormente, ainda sobre o termo alelo, o estudante A08 afirmou que alelos são responsáveis pelas características. Complementou dizendo haver alelo dominante, alelo recessivo e alelos múltiplos, mas também não soube explicá-los. Afirmou se tratar de conceitos relacionados aos conceitos de gene e alelo. O aluno A06 disse lembrar desses termos trazidos pelo colega das aulas de ciências do 9º ano em que ele estudou as ervilhas de Mendel.

A dificuldade em associar o termo alelo ao gene também foi encontrada por BELMIRO e BARROS (2017) que, em pesquisa com estudantes de escolas das redes municipais, estaduais, federais e privadas constatou que apenas aproximadamente 48% dos participantes conseguiam estabelecer essa relação.

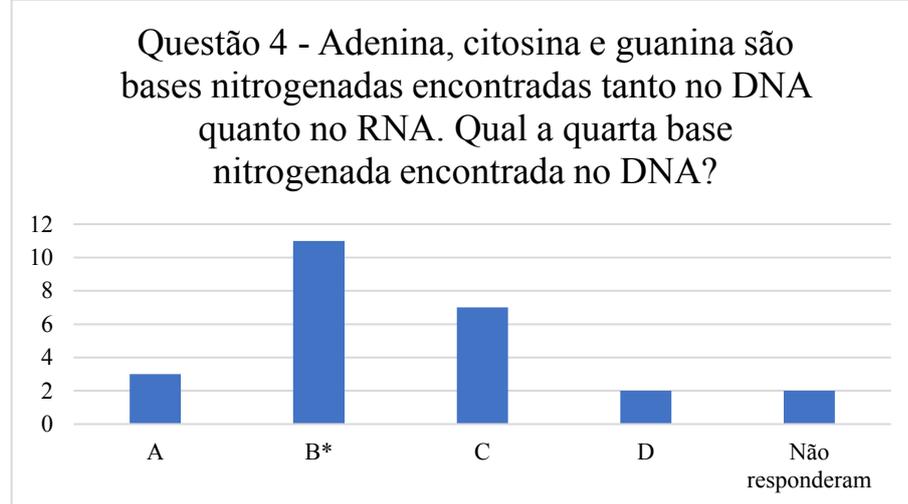
Apesar da insegurança de muitos estudantes em definir o conceito de alelo, analisando-se o GRÁFICO 3, percebeu-se que boa parte da turma associou corretamente o termo ‘alelo’ à sua definição apresentada no enunciado da questão. Acredita-se que, mesmo não sabendo dizer a definição dos conceitos apresentados, os discentes apresentam certa compreensão sobre o assunto e conseguiram estabelecer conexões entre os conceitos.

5.1.1.4. Análise das respostas da questão 4 – Bases nitrogenadas

A questão quatro do questionário se mostrou como uma das questões em que houve maior distribuição de respostas diferentes, como pode-se observar no GRÁFICO 4. O objetivo da questão era detectar se os discentes sabiam o que seriam bases nitrogenadas e, dentre elas, qual seria exclusiva de DNA e qual seria exclusiva de RNA, como é tratado no Ensino médio.

Nossos resultados mostraram que dois participantes deixaram a questão em branco alegando não saber o que responder; três assinalaram a uracila (A) como base nitrogenada exclusiva de DNA; nove assinalaram a timina (B); sete, o fosfato (C) e dois assinalaram a alternativa que continha o termo desoxirribose como resposta (D).

GRÁFICO 4 – Distribuição quanto à frequência de respostas dadas pelos estudantes na questão 4. (A) Uracila; (B) Timina; (C) Fosfato; (D) Desoxirribose. O item em asterisco corresponde à resposta correta



Fonte: A autora (2022).

Diante da distribuição de respostas, os questionamos sobre o que eles entendiam como base nitrogenada. Alguns discentes demonstraram sua pouca compreensão no assunto indicando que seria importante uma revisão do conceito pela professora. Apenas o estudante A13 arriscou dizer que as bases nitrogenadas têm nitrogênio em sua composição. O estudante A04 afirmou ter assinalado a alternativa (B – timina), pois segundo ele, a palavra combinava (rimava) melhor com os tipos de bases nitrogenadas citadas no enunciado da questão. Após essa fala, outros participantes confessaram ter “chutado” a questão usando esse mesmo raciocínio.

O depoimento dos estudantes corrobora com as proposições de VYGOTSKI (1991), em que o autor descreve que para a compreensão de conceitos científicos é necessário o exercício prático em sala de aula. O autor ainda ressalta que a aquisição dos significados desses conceitos não acontece por memorização, mas depende do desenvolvimento da capacidade de abstração e do pensamento lógico. Nesse sentido, a carência de familiaridade com os termos apresentados

na questão demonstra a necessidade de uma abordagem ativa em sala que busque a significação dos conceitos.

Reconhecemos que algumas das perguntas que selecionamos para o questionário possam envolver um certo grau de memorização. No entanto, o fato de propormos um diálogo após o preenchimento do questionário demonstrou, como foi observado para várias questões, que os alunos tinham mais conhecimento que demonstrado pelas escolhas dos itens.

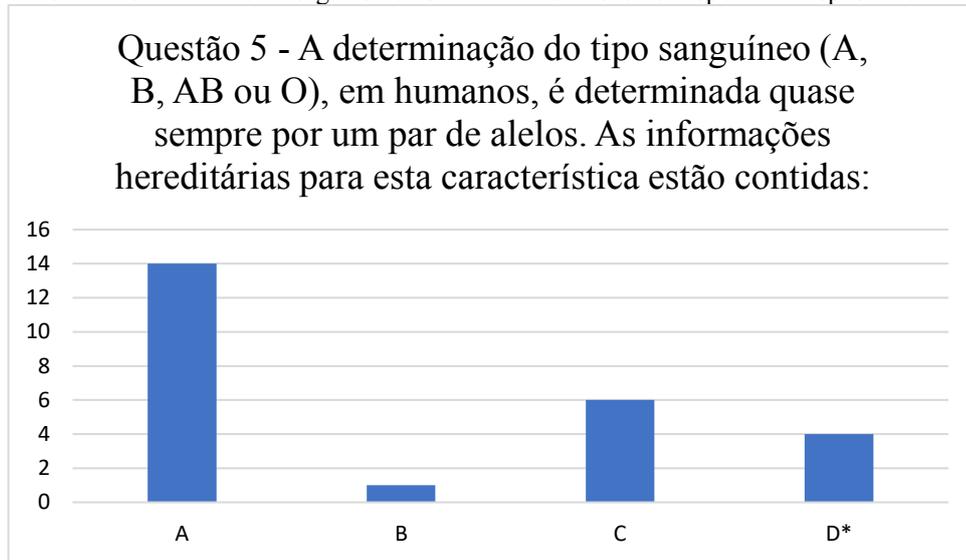
5.1.1.5. Análise das respostas da questão 5 – O núcleo celular como estrutura de armazenamento do DNA nas células eucariontes

Na questão cinco pretendíamos identificar se os participantes têm conhecimento de que o material genético do indivíduo é constante, independente da célula analisada, com exceção dos gametas. O que se altera é a expressão e/ou a inativação dos genes nos diferentes tipos celulares. Esperava-se também que eles compreendessem que o DNA, nas células eucarióticas, encontra-se no núcleo celular.

Para ilustrar, usamos como exemplo para o enunciado a determinação dos tipos sanguíneos (A, B, AB e O). Como pode ser visto no GRÁFICO 5, a maioria dos estudantes (quatorze) assinalou que a informação para a característica (tipo sanguíneo) é encontrada apenas em células sanguíneas (A); um assinalou estar presente apenas nos gametas (B); seis marcaram estar presente em todas as células do organismo (C) e quatro assinalaram corretamente estar presente apenas nas células nucleadas do organismo (D).

No momento da discussão, ao serem indagados sobre uma possível explicação para a maioria ter assinalado a alternativa (A), os estudantes responderam que, por se tratar de uma característica expressa nas células do sangue, os genes para tal característica somente seriam encontrados nesse tipo de célula.

GRÁFICO 5 – Distribuição quanto à frequência de respostas dadas pelos estudantes na questão 5. (A) Apenas nas células sanguíneas; (B) Apenas nos gametas; (C) Em todas as células do organismo; (D) Apenas nas células nucleadas do organismo. O item em asterisco corresponde à resposta correta



Fonte: A autora (2022).

Essa associação do DNA a células sanguíneas também foi encontrada por TEMP e BARTHOLOMEI-SANTOS (2014) e PEDRANCINI e colaboradores (2007). TEMP e BARTHOLOMEI-SANTOS (2014) realizaram a pesquisa com estudantes da 3ª série do ensino médio. A análise do questionário aplicado pelas autoras revelou que mais de 50% dos participantes responderam que todas as células sanguíneas apresentam DNA, não reconhecendo que algumas células perdem o núcleo no processo de maturação. PEDRANCINI e colaboradores (2007) realizaram entrevistas com educandos do último ano do ensino médio e perceberam que alguns estudantes apresentavam concepções alternativas quanto à localização do DNA, afirmando ser encontrado no sangue e no fio de cabelo.

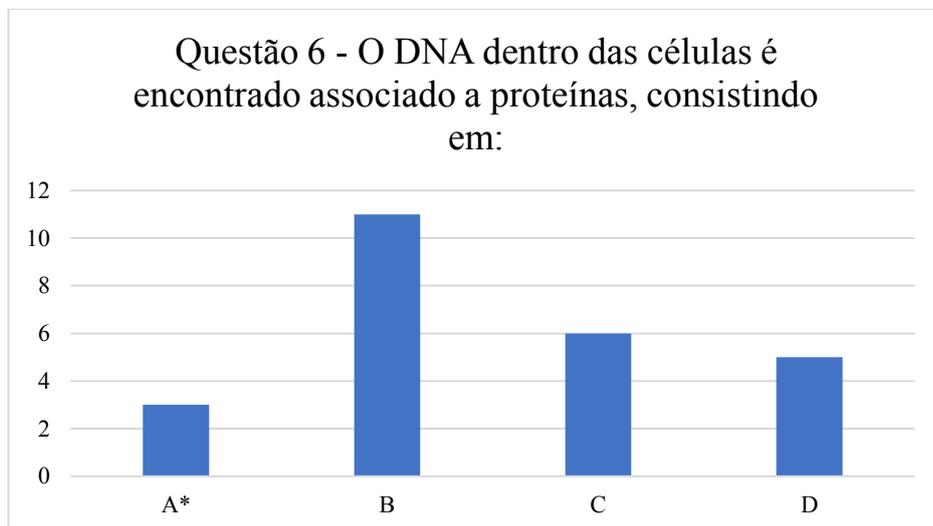
Nossos resultados demonstram a carência de compreensão dos mecanismos de expressão gênica por parte dos estudantes. ORLANDO e colaboradores (2009) destacam que os conteúdos da biologia celular e molecular requerem materiais de apoio para sua compreensão. Os pesquisadores elaboraram sete modelos de apoio sobre Biologia Celular e Molecular, se reuniram com estudantes da 1ª série do ensino médio e propuseram a montagem desses modelos pelos próprios discentes. Posteriormente, discutiram os conceitos dessa área da biologia com auxílio dos materiais confeccionados. Os alunos participantes relataram ter mais bem compreendido as informações com auxílio dos modelos produzidos, demonstrando que a utilização de atividades concretas aproxima os conteúdos de Biologia à realidade do discente.

5.1.1.6. Análise das respostas da questão 6 – Cromossomos

A questão de número 6 teve por objetivo verificar se os discentes compreendiam o termo “cromossomo”. A resposta, a nosso ver, teria que ser semelhante àquela considerada em livros textos de Genética, como PIERCE *et al.* (2016), onde se ressalta que os cromossomos são formados por DNA e proteínas associadas, consistindo na fonte da informação genética.

Apenas três estudantes marcaram a opção correta (GRÁFICO 6) e a maioria (onze participantes) marcou a opção que continha o ‘gene’ como resposta; seis assinalaram o núcleo celular e cinco marcaram o termo ‘alelo’ como conceito para DNA associado a proteínas.

GRÁFICO 6 – Distribuição quanto à frequência de respostas dadas pelos estudantes na questão 6. (A) Cromossomos; (B) Genes; (C) Núcleo celular; (D) Alelos. O item em asterisco corresponde à resposta correta



Fonte: A autora (2022).

Na discussão da questão, os participantes demonstraram reflexão e construção de conhecimento. O estudante A13 disse não se lembrar do que havia marcado como resposta, mas que, naquele momento, pelas discussões realizadas, selecionaria a opção ‘A’ (cromossomo) como resposta correta. Os discentes A04 e A06 concordaram com o colega. Quando questionado sobre o motivo pelo qual ele selecionaria ‘cromossomo’ e não ‘gene’, como a maioria da classe, o estudante não soube explicar, mas reafirmou que, para ele, o conceito de gene não seria o que estava sendo apresentado no enunciado da questão.

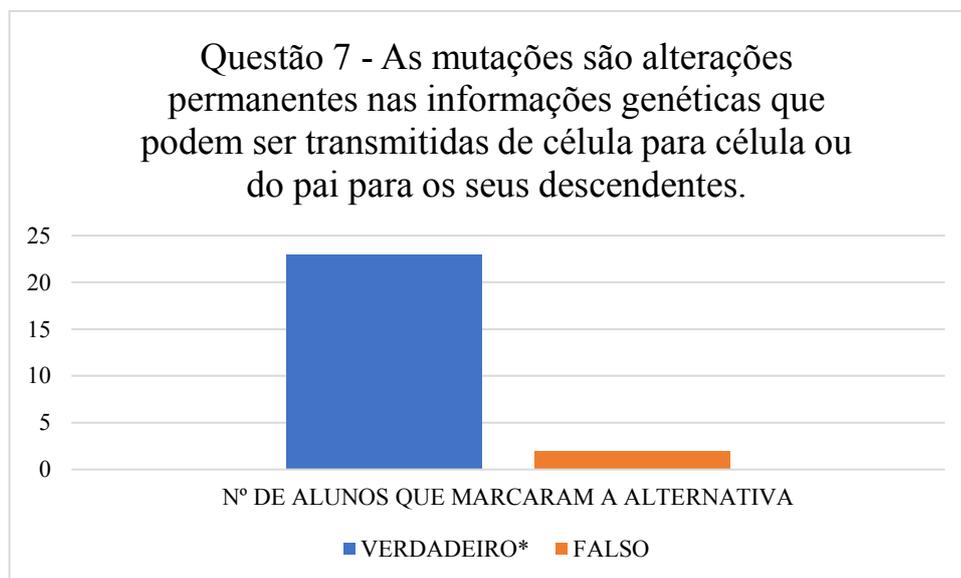
De acordo com VYGOTSKI (2001), o desenvolvimento dos conceitos científicos é uma questão de ensino e aprendizagem que requer a transposição do pensamento concreto para o abstrato. Concordando com o autor podemos dizer que percebemos com nossos estudantes que o processo de significação dos conceitos passa por uma etapa de amadurecimento em que os

conceitos espontâneos podem ser substituídos pelos conceitos científicos. Foi possível perceber que os estudantes já iniciaram o processo de significação dos conceitos científicos.

5.1.1.7. Análise das respostas da questão 7 – O conceito de mutação

A sétima questão (GRÁFICO 7) revelou que os alunos apresentam um certo conhecimento sobre mutação. Dentre os participantes, 23 marcaram a afirmativa como sendo de teor ‘verdadeiro’ e apenas dois estudantes assinalaram como ‘falsa’.

GRÁFICO 7 – Distribuição quanto à frequência de respostas dadas pelos estudantes na questão 7. O item em asterisco corresponde à resposta correta



Fonte: A autora (2022).

No momento da discussão da questão, o participante A17 afirmou que mutação é sinônimo de mudança, sendo assim, trata-se de uma mudança nos genes. O aluno A08 complementou afirmando que a mutação é uma alteração em parte do material genético, podendo haver mutação em um gene ou em vários genes. E continuou citando como argumento o andar bípede dos seres humanos e como a evolução humana pode ter sido proporcionada pelas mutações no material genético, assuntos brevemente discutidos nas aulas de Biologia.

Dessa forma, verifica-se que os discentes trouxeram diversas informações pertinentes sobre o conceito abordado na questão 7. Aproveitou-se o momento para destacar a fala dos estudantes e realçar que a Evolução é o princípio organizador da Biologia, como recomenda ZAMBERLAN e SILVA (2009), e que, sem o ensino de Evolução não se pode explicar a diversidade de seres vivos existentes atualmente e já extintos. Procuramos também deixar claro para os alunos que a mutação é um processo aleatório e apontar o papel do acaso no processo evolutivo das espécies (MEYER; EL-HANI, 2005).

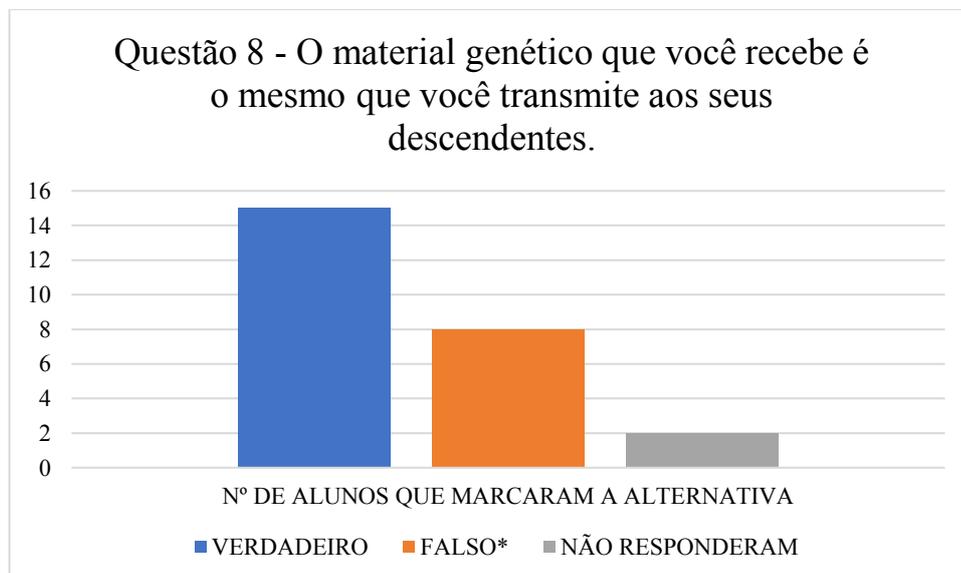
5.1.1.8. Análise das respostas da questão 8 – Variabilidade genética

Com a oitava questão (GRÁFICO 8) buscamos averiguar se os estudantes tinham conhecimento sobre a variabilidade genética que se relaciona com a reprodução sexuada, entendendo que o material genético que recebemos não é o mesmo que passamos aos nossos descendentes. Segundo FERREIRA (2008) a compreensão do conceito de variabilidade genética é de grande relevância para o entendimento dos conteúdos da biologia. Concordando com o autor, entender esse conceito é essencial para elucidar outros conceitos, como a mutação, a reprodução sexuada e assexuada e a evolução. Contudo, os resultados mostraram que os discentes ainda não apresentam esse conhecimento ou não compreenderam a questão, pois 15 assinalaram ‘verdadeiro’; oito ‘falso’ e dois deixaram de responder à questão.

O estudante A17, durante a discussão, argumentou que durante a reprodução, apenas metade do nosso material genético é transmitido aos nossos descendentes e a outra metade é proveniente do parceiro. Com isso, segue afirmando que o que passamos aos nossos descendentes não é exatamente o mesmo material genético que recebemos.

A contribuição do discente confirma a importância da discussão das questões em grupo. Como pôde-se verificar no Gráfico 8, a maioria dos participantes havia marcado a opção incorreta para a questão. Contudo, após as discussões que foram feitas ao longo de cada questão, buscando obter deles o entendimento dos conceitos, observa-se compreensão do motivo das respostas corretas.

GRÁFICO 8 – Distribuição quanto à frequência de respostas dadas pelos estudantes na questão 8. O item em asterisco corresponde à resposta correta



Fonte: A autora (2022).

Para KRASILCHIK (2004), sob a perspectiva construtivista, defendida atualmente, o discente é autônomo para controlar seu próprio aprendizado e este depende da interação com os colegas e professores. Segundo SCARPA e SILVA (2013), a contribuição de estudantes mais experientes é de extrema importância para o desenvolvimento da classe. De acordo com as autoras:

[...] é na interação que a significação se produz, e o outro tem um papel mediador fundamental na aprendizagem. Esse desenvolvimento é possibilitado por estratégias didáticas que favoreçam a cooperação, a negociação, a argumentação em sala de aula. (SCARPA e SILVA, 2013, p.134)

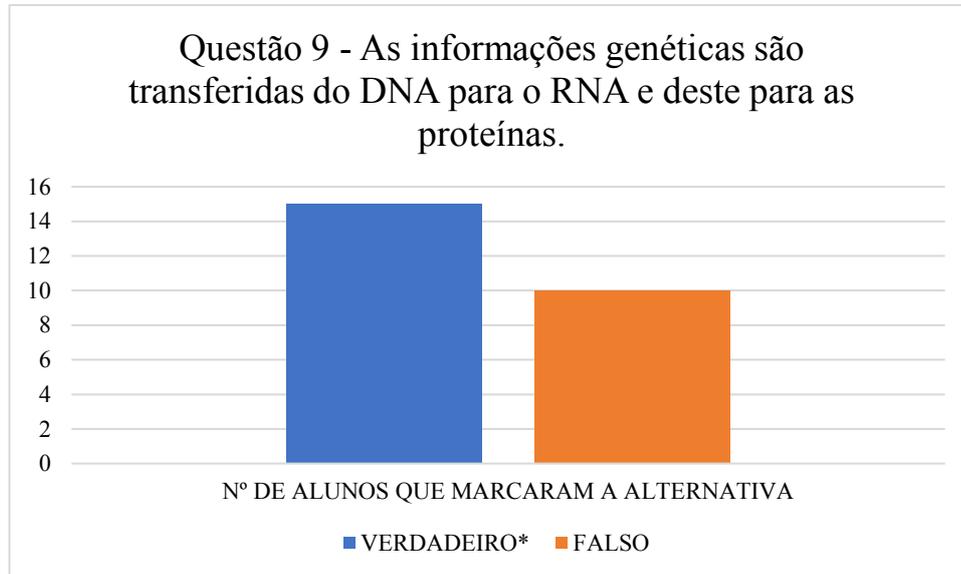
5.1.1.9. Análise das respostas da questão 9 – O dogma central da biologia

No nono exercício (GRÁFICO 9) buscávamos verificar se os alunos apresentavam algum conhecimento sobre o processo de síntese de proteínas. Perguntamos a eles se a informação genética é transferida do DNA para o RNA e deste último para as proteínas. Do total de 25 estudantes, 15 assinalaram a afirmação como verdadeira e 10 como falsa.

Apesar dos resultados, durante a discussão da questão os estudantes afirmaram não apresentar nenhum conhecimento a respeito da síntese proteica. Os estudantes presentes disseram ter marcado aleatoriamente a resposta para não deixar a questão “em branco”.

O dogma central da biologia diz respeito à transmissão de informações a partir dos processos de replicação, transcrição e tradução do DNA. Sendo assim, nossa atividade evidenciou dificuldade dos estudantes de compreensão sobre o assunto e de estabelecer uma relação entre as estruturas e suas respectivas funções. Essa dificuldade também foi relatada por REZENDE e GOMES (2018). JUSTINA e FERLA (2013) criticam a precariedade do conhecimento de genética apresentado por estudantes em todos os níveis de ensino e apontam que a compreensão desses conceitos básicos é fundamental para o entendimento das biotecnologias. Nesse sentido, a abordagem dos conhecimentos prévios e discussão dos conceitos torna-se indispensável para apoderar-se dos assuntos relacionados às biotecnologias de edição de genes.

GRÁFICO 9 – Distribuição quanto à frequência de respostas dadas pelos estudantes na questão 9. O item em asterisco corresponde à resposta correta



Fonte: A autora (2022).

5.1.1.10. Análise das respostas da questão 10 – O conceito de genótipo e fenótipo

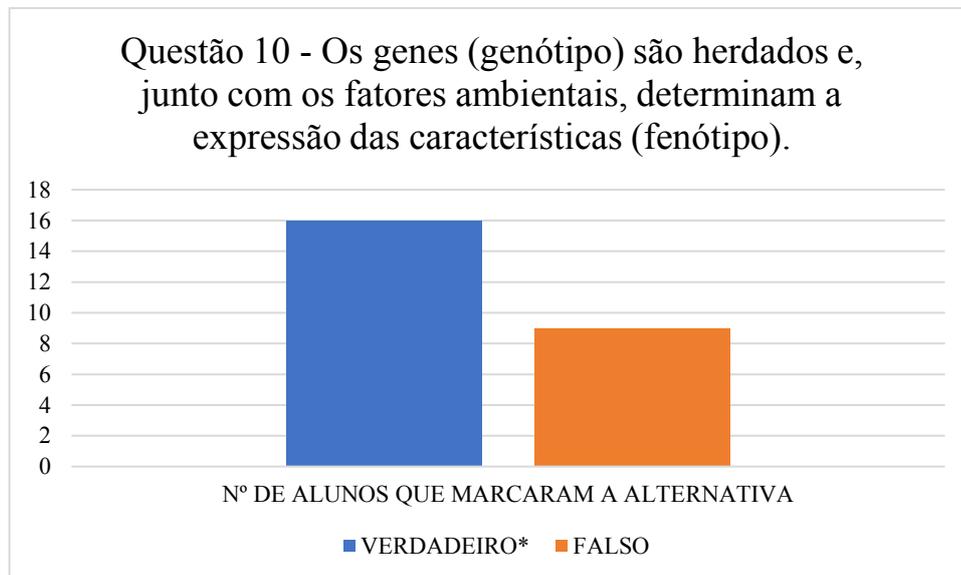
Na décima questão apresentamos os conceitos de genótipo e fenótipo. Nossa intenção foi verificar se os participantes da pesquisa tinham algum conhecimento sobre os conceitos de genótipo e fenótipo e a relação existente entre eles. Os resultados nos mostraram que 64% dos estudantes (16) consideraram como verdadeira a afirmação de que o genótipo é o conjunto de genes herdados e o fenótipo se refere à expressão da informação presente no genótipo relacionado a fatores ambientais.

No momento da discussão da questão, os discentes se mostraram com muitas dúvidas e receio em responder o que eles entendiam do significado dos conceitos apresentados. Nos chamou a atenção que as discussões entre os participantes os levaram a refletir sobre a questão do ponto de vista da evolução. A afirmação do enunciado os fez associar o conceito de fenótipo ao processo de surgimento de novas adaptações e de especiação. Para ilustrar o seu pensamento, os estudantes citaram o surgimento do bipedalismo na espécie humana e a vantagem seletiva da camuflagem em ratos, este último foi descrito por VIGNIERI; LARSON e HOEKSTRA (2010), exemplos usados na aula de biologia. Os pesquisadores citados, usando modelos de plástico de camundongos de pelo claro e outros de pelo escuro, identificaram que a cor clara da pelagem desses animais, que habitam a região arenosa costeira da Flórida, representa uma vantagem adaptativa na natureza. Os autores perceberam que os predadores visuais desses animais capturavam com maior frequência camundongos com pelagem de cor escura neste

ambiente, demonstrando evidências de que predadores moldam padrões de cores na espécie de camundongo em questão.

Isso nos mostra que, apesar da insegurança em defender suas ideias, os discentes apresentaram conhecimentos prévios sobre o assunto. Aproveitamos as discussões para reforçar que a evolução é o eixo integrador da biologia, sem a qual não conseguimos explicar a uniformidade e diversidade da vida (DALAPICOLLA et al., 2015; MEYER; EL-HANI, 2005).

GRÁFICO 10 – Distribuição quanto à frequência de respostas dadas pelos estudantes na questão 10. O item em asterisco corresponde à resposta correta



Fonte: A autora (2022).

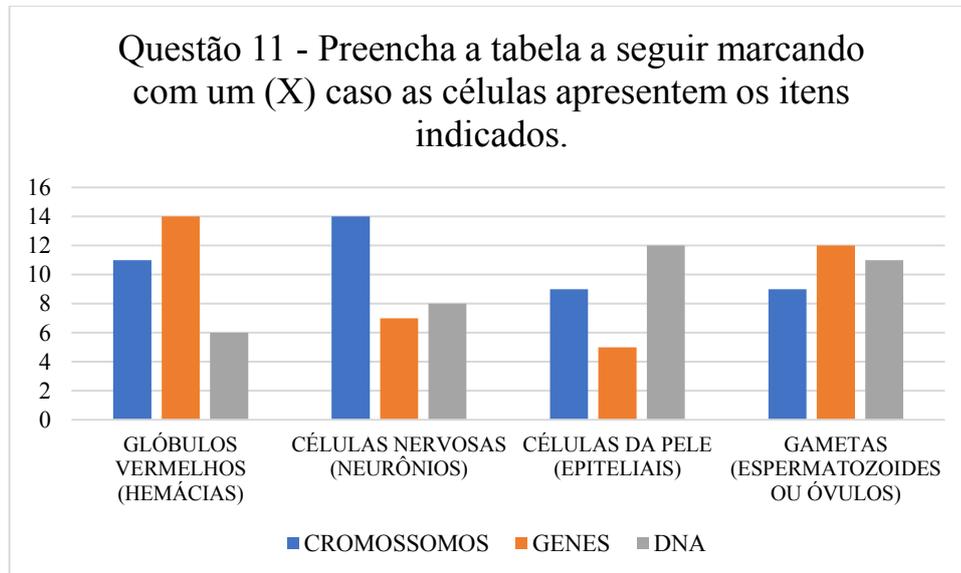
5.1.1.11. Análise das respostas da questão 11 – Relação entre os conceitos de cromossomos, gene e DNA

Na última questão, nosso objetivo foi verificar se os estudantes compreendiam que os conceitos de ‘cromossomos’, ‘genes’ e ‘DNA’ correspondem a estruturas encontradas no interior do núcleo das células e são conceitos afins. As respostas nos mostraram (GRÁFICO 11) que eles apresentam dificuldades em compreender esses conceitos.

Nos questionamos se a variação das respostas se devia à falta de entendimento da tarefa, e se precisávamos elaborar melhor o comando da questão. Perguntamos aos participantes se, na opinião deles, a questão deveria ser mais bem elaborada. Entretanto, eles nos informaram que o comando da questão estava claro, e o que os levou a responder incorretamente à questão foi mesmo a falta de compreensão da relação entre os conceitos apresentados.

Durante a discussão observamos que os estudantes relacionam os genes, na maioria das vezes, às células germinativas. Associaram os genes apenas à hereditariedade, ou seja, a transmissão de características de uma geração a outra. Os participantes desconheciam a função dos genes nas células somáticas, na regulação e na diferenciação celular.

GRÁFICO 11 – Distribuição quanto à frequência de respostas dadas pelos estudantes na questão 11



Fonte: A autora (2022).

Ao final da segunda aula os estudantes afirmaram que os assuntos abordados na disciplina de Biologia, Química e Ciências da Natureza estão interligados e questionaram se há um planejamento dos docentes das áreas para tal relação, demonstrando que perceberam que o estudo da vida está integrado à diversas áreas do conhecimento. A observação feita pelos participantes vai ao encontro dos nossos objetivos de apresentar uma visão integradora das disciplinas de Ciências da Natureza, como também orienta a BNCC (BRASIL, 2018).

5.1.2. Aula 3 – Aula dialogada sobre duplicação do DNA e síntese de proteínas

Terminadas as discussões da aula 2, solicitamos aos estudantes que pesquisassem e escrevessem com suas palavras as definições dos conceitos apresentados, a fim de discutirmos na aula seguinte. Sendo assim, nossa intenção foi solicitar que eles trouxessem dúvidas e conhecimentos pertinentes à genética e à biologia molecular, contribuindo para a compreensão dos conceitos apresentados antes de introduzirmos o estudo e a discussão da ferramenta CRISPR/Cas9. Buscamos nesta aula evidenciar para eles que os conceitos discutidos precisavam ser consolidados para as discussões que faríamos nas aulas seguintes.

Preparamos, previamente, uma apresentação de slides contendo imagens que pudessem ser usadas para explicar os conceitos. Além dos conceitos apresentados no questionário, surgiu a necessidade de melhor esclarecimento de outros conceitos, como ‘célula eucarionte’ e ‘célula procarionte’. Para complementar o entendimento e dinâmica dos processos celulares, também utilizamos recursos audiovisuais disponíveis na plataforma YouTube, conforme estão referenciados no QUADRO 3.

QUADRO 3 - RECURSOS AUDIOVISUAIS UTILIZADOS NA AULA 3

Material a ser utilizado		Referência
1.	Vídeo – Do DNA à Proteína (3min e 13seg)	CANAL INTELIGENTISTA. Do DNA à Proteína . Disponível em: < https://www.youtube.com/watch?v=6nxRxoGME_I&feature=youtu.be >. Acesso em: 24 fev. 2021.
2.	Vídeo –Replicação do DNA (3min e 27seg)	YOURGENOME. DNA replication - 3D - YouTube . Disponível em: < https://www.youtube.com/watch?v=TNKWgcFPHqw >. Acesso em: 18 out. 2021.
3.	Vídeo – Estrutura e replicação do DNA (14min e 24 seg)	KHAN ACADEMY. Estrutura e replicação de DNA Biologia YouTube . Disponível em: < https://www.youtube.com/watch?v=34Jr2U7KwOE&t=5s >. Acesso em: 18 out. 2021.

FONTE: A autora (2022).

Como se esperava, dada a complexidade do termo, o conceito de gene foi o que mais gerou questionamentos entre os estudantes. O aluno A17 definiu o gene como uma sequência específica de nucleotídeos A, T, C e G do DNA que armazena informação para síntese de proteína com uma função no organismo. Nesse momento, o estudante A04 questionou se todas as células do organismo apresentam os mesmos genes. Sem aprofundar excessivamente no assunto, procuramos explicar aos discentes que o que diferencia os tipos de células são os genes que estão sendo expressos e inativados em cada tipo celular.

Durante a exibição do vídeo 1 do Quadro 3 (Do DNA à Proteína), buscamos mostrar aos estudantes que existem proteínas, chamadas fatores de transcrição, que irão atuar como ativadores ou repressores durante a etapa de transcrição. O participante A08 pediu para citar o nome de genes que atuam regulando a expressão de outros genes. Para responder ao questionamento do estudante, citamos os genes Hox, que atuam controlando o desenvolvimento de segmentos do corpo. Nosso objetivo não foi aprofundar nesse conhecimento, mas responder aos questionamentos da turma que, no momento, se mostrava interessada no assunto.

Outra dúvida trazida pelos estudantes foi a constituição dos nucleotídeos. Os participantes, inicialmente, questionaram o que são nucleotídeos, o que os difere, o que são bases nitrogenadas e as diferenças entre elas. Para respondê-los, apresentamos a eles a estrutura química dos nucleotídeos e, posteriormente, de cada base nitrogenada. Observamos que nesse

momento houve dificuldade em compreender a cadeia estrutural, provavelmente devido à falta de maturidade e contato com o universo da química por parte de alguns estudantes. Nesse momento, detectamos também que os participantes ainda não possuíam conhecimento sobre ligações químicas e apresentavam dificuldade em reconhecer os símbolos usados para representar os elementos químicos. Por este motivo, para uma nova aplicação, recomendamos que essa SD seja desenvolvida no segundo semestre letivo, ou após os alunos terem noções básicas da Química, Física e Biologia.

Visando a melhor compreensão desses temas, do conceito de gene e como a informação está codificada no DNA, usamos como analogia as letras do alfabeto que dependendo da ordem em que são organizadas remetem a palavras diferentes com significados completamente distintos. A compreensão desses conceitos é essencial para o entendimento das biotecnologias e edição de genes e, dessa forma, também conseguimos melhor esclarecer o que são mutações.

5.1.3. Aula 4 – Discussão dos estudos de caso e CRISPR/Cas9

5.1.3.1. Apresentação e discussões iniciais sobre CRISPR/Cas9

Como sequência da nossa atividade, na quarta aula introduzimos a discussão sobre a ferramenta CRISPR/Cas9. Iniciamos a aula dividindo a turma em grupo menores, de quatro a cinco indivíduos, de acordo com as suas próprias escolhas. Segundo GOMES e colaboradores (2005) permitir a livre escolha de grupos garante representatividade cultural e diversidade na investigação. Concordando com os autores, percebemos que os grupos espontâneos favoreceram a interação, pois os participantes puderam compartilhar vivências e valores mais ou menos semelhantes. Solicitamos aos grupos que preparassem uma apresentação oral (agendadas para a sexta aula) onde os participantes deveriam explicar o que é CRISPR, quais são os aspectos positivos e negativos da utilização dessa técnica de edição genômica e indicar se, na opinião do grupo, essa técnica pode ser usada para editar genes humanos.

Para iniciarmos o estudo sobre CRISPR, disponibilizamos para os estudantes uma lista de materiais (artigos científicos, jornalísticos e de divulgação científica) que serviram como referencial de consulta e arcabouço teórico para discussão do tema. A lista dos materiais fornecidos pode ser verificada no QUADRO 4. Nossa proposta nessa aula teve como objetivo permitir que os discentes realizassem a leitura dos textos fornecidos e trouxessem discussões e dúvidas, caso houvesse, para o próximo encontro.

Durante essa etapa, os estudantes permaneceram a maior parte do tempo tecendo comentários sobre os textos fornecidos. Eles se mostraram muito interessados e, podemos

mesmo dizer, abismados em saber que é possível editar genes de seres vivos, demonstrando que eles ainda não apresentavam conhecimento sobre essa ferramenta biotecnológica. Aproveitamos o engajamento para iniciar a discussão bioética sobre as possibilidades de utilização da ferramenta de edição de genes. Solicitamos aos discentes que fizessem uma leitura ativa dos materiais fornecidos e que elencassem pontos que consideravam relevantes sobre o tema em questão.

LOUREIRO e colaboradores (2012), em pesquisa realizada com estudantes universitários e de escolas do ensino médio, coletaram as opiniões dos participantes sobre conceitos e polêmicas relacionados à biotecnologia. Os pesquisadores concluíram que embora eles fossem capazes de opinar sobre o uso de biotecnologias, tanto estudantes de ensino médio quanto superior apresentavam erros conceituais sobre o tema e desconheciam seus princípios.

QUADRO 4 – REFERENCIAL DE CONSULTA QUE FOI FORNECIDO AOS ESTUDANTES

	Material disponibilizado	Referência
1.	Duas geneticistas vencem prêmio Nobel de Química	AFP. Duas geneticistas vencem prêmio Nobel de Química . Disponível em: < https://www.otempo.com.br/interessa/duas-geneticistas-vencem-premio-nobel-de-quimica-1.2395625 >. Acesso em: 18 out. 2021.
2.	Adaptação do artigo O impacto na sociedade da tecnologia de edição gênica com base no sistema CRISPR-Cas9	SOUZA, T. A. J. DE; PEREIRA, T. C. O impacto na sociedade da tecnologia de edição gênica com base no sistema CRISPR-Cas9. Genética na Escola , v. 12, n. 2, p. 124–131, 2017.
3.	Adaptação do artigo A revolucionária técnica de edição genética "CRISPR"	CARLI, G. J. DE; SOUZA, T. A. J. DE; PEREIRA, T. C. A revolucionária técnica de edição genética "CRISPR". Genética na Escola , v. 12, n. 2, p. 114–123, 2017.
4.	Chinês que diz ter editado genes de bebês desaparece e levanta suspeita de prisão, dizem jornais	G1. Chinês que diz ter editado genes de bebês desaparece e levanta suspeita de prisão, dizem jornais . Disponível em: < https://g1.globo.com/ciencia-e-saude/noticia/2018/12/03/chines-que-diz-ter-editado-genes-de-bebes-desaparece-e-levanta-suspeita-de-prisao-dizem-jornais-do-pais.ghtml >. Acesso em: 18 out. 2021.
5.	Edição de DNA de gêmeas chinesas pode ter afetado o cérebro, aponta MIT	G1. Edição de DNA de gêmeas chinesas pode ter afetado o cérebro, aponta MIT . Disponível em: < https://g1.globo.com/ciencia-e-saude/noticia/2019/02/21/edicao-de-dna-de-gemeas-chinas-pode-ter-afetado-o-cerebro-aponta-mit.ghtml >. Acesso em: 18 out. 2021.
6.	OMS cria comitê para debater futuro da edição genética humana	DANTAS, C.; G1. OMS cria comitê para debater futuro da edição genética humana . Disponível em: < https://g1.globo.com/ciencia-e-saude/noticia/2019/03/19/oms-cria-novo-comite-com-maioria-feminina-para-debater-futuro-da-edicao-genetica-humana.ghtml >. Acesso em: 18 out. 2021.
7.	crispoquê?	PEZZO, M. crispoquê? Disponível em: < http://www.labi.ufscar.br/2019/03/28/crispoque/ >. Acesso em: 18 out. 2021.
8.	Cientistas usam técnica CRISPR para tornar Aedes aegypti 'cego'	COSTA, L. Cientistas usam técnica CRISPR para tornar Aedes aegypti 'cego' . Disponível em: < https://super.abril.com.br/ciencia/cientistas-usam-tecnica-crispr-para-tornar-aedes-aegypti-cego/ >. Acesso em: 18 out. 2021.

9.	Pela 1ª vez, técnica CRISPR é injetada no sangue para tratar doença rara	REDAÇÃO GALILEU. Pela 1ª vez, técnica CRISPR é injetada no sangue para tratar doença rara . Disponível em: < https://revistagalileu.globo.com/Ciencia/Saude/noticia/2021/06/pela-1-vez-tecnica-crispr-e-injetada-no-sangue-para-tratar-doenca-rara.html >. Acesso em: 18 out. 2021.
10.	CRISPR, uma ferramenta de edição genética, no tratamento do câncer	MELLO, R. A. DE. CRISPR, uma ferramenta de edição genética, no tratamento do câncer . Disponível em: < https://saude.abril.com.br/blog/com-a-palavra/crispr-uma-ferramenta-de-edicao-genetica-no-tratamento-do-cancer/ >. Acesso em: 18 out. 2021.
11.	Técnica de edição de genes reverte cegueira de duas pessoas nos EUA	CONTAIFER, J. Técnica de edição de genes reverte cegueira de duas pessoas nos EUA . Disponível em: < https://www.metropoles.com/saude/tecnica-de-edicao-de-genes-reverte-cegueira-de-duas-pessoas-nos-eua >. Acesso em: 18 out. 2021.

FONTE: A autora (2022).

O plano de curso implementado nas escolas da Rede Estadual de Minas Gerais prevê a abordagem dos temas relacionados à biotecnologia no 4º bimestre da 1ª série do Ensino Médio na disciplina de Biologia. Entretanto, esse conteúdo somente é revisto e consolidado no 2º bimestre da 3ª série. Diante desse fato, não nos surpreendeu que os alunos não tivessem sido expostos a esse conhecimento no ensino formal ou informal. TEMP e BARTHOLOMEI-SANTOS (2014) alertam que essa falta de conhecimento pode estar relacionada aos métodos de ensino descontextualizados que visam a memorização e não a compreensão dos conceitos. Em vários aspectos, nossa sequência didática torna-se relevante para a aprendizagem dos estudantes com os conceitos de genética e das biotecnologias.

5.1.3.2. Diálogo sobre os estudos de caso

Retomamos nesta aula as situações relatadas nos estudos de caso que os estudantes responderam individualmente na aula 1. Nossa proposta foi socializar as concepções que eles tinham sobre a edição de genes e os casos relatados. Ressaltamos que não devolvemos a eles as respostas preenchidas na aula 1.

Iniciamos a conversa perguntando se os discentes tinham conhecimento de que alterações como aquelas descritas eram possíveis com as biotecnologias de edição de genes e a promissora técnica CRISPR/Cas9. A resposta foi unânime, afirmando novamente que não sabiam ser possível. A17 brincou que esse tipo de situação pensava existir apenas em filmes e séries de ficção científica.

A dificuldade de percepção das ferramentas científicas na sociedade também foi encontrada por MARCHIORI e colaboradores (2014). Os autores, por meio de uma pesquisa de opinião realizada com estudantes do ensino médio, também identificaram que os discentes apresentavam concepções alternativas e de cunho sensacionalista sobre as biotecnologias.

Perceberam ainda que os participantes reproduziam informações distorcidas provenientes das mídias.

Questionamos os estudantes e pedimos que expressassem suas opiniões quanto à edição de genes relatada na situação 2 (ÂPENDICE D). A17 se pronunciou mais uma vez e afirmou que concordaria com a edição para prevenir o câncer de mama, mas que não concordava com as demais alterações, pois considerava essas características fúteis. A turma concordou com o colega. Neste momento, aproveitamos para instigá-los e se colocarem no lugar do outro. Pedimos para se colocarem no lugar de uma pessoa muito alta ou com estatura muito abaixo da média da população e refletirem se, para pessoas com essas características, a edição de genes com relação à estatura seria considerada frívola. A22 tomou a palavra afirmando que, em sua opinião, ainda concordava com a edição de genes apenas para cura de doenças ou quando há riscos de morte. A17, concordando com o colega, relatou que já passou por episódios de *bullying*, inclusive na própria turma, por estar acima do peso médio, mas que mesmo diante dessa situação, está de acordo com a edição do genoma somente para cura ou prevenção de doenças.

As respostas dos educandos em nossa pesquisa dialogam com os resultados encontrados por GUIMARÃES; CARVALHO e OLIVEIRA (2010). Os autores realizaram entrevistas com estudantes de ensino médio buscando entender como eles tomam suas decisões em relação às questões sociocientíficas. As análises dos autores mostraram que os participantes da pesquisa consideraram que a edição de genes com a finalidade estética ou à perda de diversidade de características não deveria ser aplicada em seres humanos.

Infelizmente não foi possível realizar a discussão de todos os estudos de caso, como havíamos planejado para esta aula. Reconhecemos a importância do debate dessas situações e que uma única aula não foi suficiente para tantas discussões que foram propostas. Diante desse fato, recomendamos em futuras aplicações desta SD separar, no mínimo, uma aula para as conversas sobre os estudos de caso.

Na seção a seguir apresentaremos nossa análise de conteúdo realizada sobre as respostas dos participantes aos estudos de caso aplicados na primeira aula.

5.1.4. Estudos de caso sobre doenças e edição gênica

Antes de seguir às análises, cabe-nos trazer elementos sobre os conceitos que envolvem esta atividade. Moral e ética são termos abordados em nosso cotidiano muitas vezes como sinônimos, mas que podem apresentar significados distintos dependendo do autor ao qual estamos nos baseando. Para DE LA TAILLE (2007), essa semelhança pode ser explicada pelo fato desses conceitos serem empregados para se referir a regras de conduta.

De acordo com VALLS (1994), ética é um termo que muito se fala, mas que é complexo de se explicar. Nesse sentido, para nortear nossa pesquisa, usaremos neste trabalho as definições de moral e ética propostas por DE LA TAILLE (2007). Segundo o autor, a moral se refere as regras de conduta que administram as comunidades humanas. Já ética corresponde às reflexões científicas e filosóficas que se faz sobre o comportamento social humano. Sendo assim, entende-se a ética como a liberdade de escolha individual, a autonomia do sujeito em escolher uma ou outra atitude e refletir sobre ela.

Bioética é um conceito recente -mais precisamente da década de 1970- que surgiu como resposta aos horrores testemunhados e relatados na Segunda Guerra Mundial. Dessa forma, trata-se de uma tentativa de discussão e reflexão sobre o comportamento e tratamento dos indivíduos no âmbito da saúde e da vida dos seres humanos e de todos os demais seres vivos (MOTTA; VIDAL; SIQUEIRA-BATISTA, 2012; OLIVEIRA, 2013; RENK et al., 2016). Portanto, consideraremos para o nosso estudo a bioética como uma área de estudo de temas morais e éticos relacionados ao estudo da vida (BERNARDO-ÁLVAREZ, 2017; CABALLERO-HERNANDEZ; RODRÍGUEZ-PADILLA; LOZANO-MUÑIZ, 2017).

5.1.4.1. Análise das respostas dos estudantes nos estudos de caso

A apresentação dos casos foi feita na primeira aula, logo após a aplicação do questionário de conceitos da genética e da biologia molecular. As respostas individuais dos estudantes sobre os casos fictícios foram analisadas conforme a metodologia proposta por GOMES e colaboradores (2005), usando como referência a análise temática de BARDIN (1977).

Consideramos realizar, primeiramente, uma análise das concepções prévias que os educandos traziam sobre o tema em questão para, posteriormente, seguir com as discussões coletivas, mesmo que parcialmente, como já descrito nas seções anteriores. Nesta atividade, os discentes deveriam opinar sobre os casos fictícios em que se abordavam a edição de genes

humanos. Ressaltamos que eles ainda não apresentavam noções básicas sobre o que são essas biotecnologias.

Nas próximas seções, discutiremos cada estudo de caso individualmente. Só foram analisadas as respostas dos 25 estudantes que aceitaram participar da pesquisa, ainda que todos os 40 estudantes tenham respondido às questões.

5.1.4.1.1. Análise das respostas do primeiro estudo de caso: Amaurose Congênita de Leber (ACL)

O primeiro caso descrevia um menino de oito anos que foi diagnosticado com Amaurose Congênita de Leber (ACL), um tipo de cegueira congênita para a qual há um tratamento de edição de genes, ainda experimental, que permite alterar a sequência de nucleotídeos “defeituosos” do gene para tal característica. No primeiro item deste caso perguntamos aos estudantes se, caso eles fossem os pais da criança, aceitariam participar do tratamento. No segundo item perguntamos se fariam o procedimento, caso fossem um dos cientistas do caso, e qual seria a sua atitude. Esperávamos que, para responder à questão, os discentes considerassem também que existem diversos genes que podem causar a ACL, como sintetizado no enunciado da questão. Além disso, eles deveriam ter em mente que um gene não determina apenas uma característica.

No QUADRO 5 apresentamos um recorte das respostas dos 25 estudantes para o item do estudo de caso sobre ACL e buscamos identificar as ideias implícitas e explícitas nessas unidades de registro.

QUADRO 5 – RELAÇÃO ENTRE O CÓDIGO QUE REPRESENTA OS PARTICIPANTES, RESPOSTAS DOS ESTUDANTES PARA O ESTUDO DE CASO SOBRE ACL E IDEIAS EXTRAÍDAS DO CONTEXTO

Estudante	Depoimento	Ideia
A01	“Se não tivesse perigo eu aceitaria sim, porque iria ajudar ele a enxergar.”	Tratamento experimental como perigoso
A02	“Depende, eu ia analisar para ver se ele não corria o risco de ficar pior.”	Tratamento experimental como perigoso
A03	“Sim, pois teria uma pequena probabilidade de ele ser curado, ou [a doença] poderia ser contida e amenizada.” “É claro, seria um avanço na Ciência.”	Tratamento experimental com potencial para curar doenças. Os resultados do tratamento representariam avanços na pesquisa científica
A04	“Sim, gostaria de tentar algo para meu filho enxergar como as outras crianças e, como mãe, pensaria no meu filho.”	Relação afetiva
A05	“Sim, para o garotinho tem ao menos a chance de enxergar novamente.”	Tratamento experimental com potencial para curar doenças. Sentimento
A06	“Sim, porque caso consiga ‘mudar’ o gene com o tratamento, ele poderia voltar a enxergar.”	Tratamento experimental com potencial para curar doenças

A07	“Sim, porque mesmo que não dê certo, vai ajudar os médicos a descobrirem mais um pouco sobre a doença, e ajudar outras pessoas com a mesma doença.”	Os resultados do tratamento representariam avanços na pesquisa científica
A08	“Sim. Penso que vale a pena tentar, mesmo tendo a possibilidade de dar errado. Gostaria que a criança começasse a enxergar. É melhor correr o risco e ver o resultado do que não tentar e se perguntar pelo resto da vida se teria dado certo.”	Tratamento experimental com potencial para curar doenças Sentimento
A09	“Não, porque mudaria 24 genes do meu filho e é uma chance mínima de dar certo (experimental).” “Poderia até mudar a personalidade do meu filho, a pessoa que ele é.”	Tratamento experimental como perigoso Edição de genes com potencial para alterar características
A10	“Sim. Eu faria o tratamento experimental para ajudar o garoto, mesmo sabendo que tem risco de prejudicar ou interferir em mais de uma característica no indivíduo.”	Tratamento experimental com potencial para curar doenças Edição de genes com potencial para alterar características
A11	“Sim, se não tivesse risco de morte. [caso contrário], eu não aceitaria. Mas é uma tentativa importante.”	Tratamento experimental como perigoso Os resultados do tratamento representariam avanços na pesquisa científica
A12	“Sim, pois ainda é uma possibilidade do meu filho enxergar.”	Tratamento experimental com potencial para curar doenças
A13	“Não. Iria preferir ele cego do que correr o risco de vida, ou mudar ele.”	Tratamento experimental como perigoso Edição de genes com potencial para alterar características
A14	“Sim, para provavelmente ter uma vida melhor.”	Tratamento experimental com potencial para curar doenças Sentimento
A15	“Não porque a chance de ficar cego é muito maior.”	Tratamento experimental como perigoso
A16	“Aceitaria. Pode dar certo e curá-lo, além disso, toda tentativa é válida, pois é uma situação delicada.”	Tratamento experimental com potencial para curar doenças Os resultados do tratamento representariam avanços na pesquisa científica
A17	“Sim, mesmo sendo arriscado (como toda cirurgia é), mas faria de tudo para dar uma qualidade de vida melhor para o meu filho.”	Tratamento experimental com potencial para curar doenças Tratamento experimental como perigoso Sentimento
A18	“Sim. Eu confiaria no tratamento, pois acho que com base em tudo que sabemos há mais chances de dar certo do que dar errado.”	Tratamento experimental com potencial para curar doenças
A19	“Sim. Porque ia ser muito bom para ele, porque íamos conseguir resolver isso.”	Tratamento experimental com potencial para curar doenças
A20	“Não, porque está em fase de teste, o experimento iria ser um teste para melhorar.”	Tratamento experimental como perigoso
A21	“Sim, porque era a única oportunidade, mesmo que fosse arriscado.”	Tratamento experimental como perigoso
A22	“Não, pelo fato de interferir em mais de uma característica do meu filho.”	Edição de genes com potencial para alterar características
A23	“Sim, se ele quisesse fazer o tratamento.”	Expressar a vontade da criança
A24	“Sim, pois teria a possibilidade do meu filho voltar a enxergar.”	Tratamento experimental com potencial para curar doenças
A25	“Sim, pois poderia sarar meu filho e ajudar no avanço científico.”	Tratamento experimental com potencial para curar doenças

	Os resultados do tratamento representariam avanços na pesquisa científica
--	---

Fonte: A autora (2022).

Posteriormente, buscamos correlacionar as ideias extraídas das respostas com os respectivos estudantes e contabilizamos o número de participantes que expressaram tais ideias em suas respostas (QUADRO 6).

QUADRO 6 – IDEIAS EXTRAÍDAS DAS RESPOSTAS DO ESTUDO DE CASO SOBRE ACL, CÓDIGO QUE REPRESENTA OS ESTUDANTES E NÚMERO DE ALUNOS

Ideia	Alunos	Número de alunos
Tratamento experimental como perigoso	A01, A02, A09, A11, A13, A14, A15, A17, A20, A21.	10
Tratamento experimental com potencial para curar doenças	A03, A05, A06, A08, A10, A12, A16, A17, A18, A19, A24, A25.	12
Os resultados do tratamento representariam avanços na pesquisa científica	A04, A07, A11, A16, A25.	5
Relação afetiva	A04, A05, A08, A14, A17.	5
Edição de genes com potencial para alterar características	A09, A10, A13, A22.	4
Expressar a vontade da criança	A23.	1

Fonte: A autora (2022).

Observa-se que 10 alunos apresentaram em suas respostas o conceito de tratamento experimental como danoso à vida do paciente. O participante A02 responde à pergunta dizendo: “Depende, eu ia analisar para ver se ele não corria o risco de ficar pior”. Dessa forma, pode-se entender que o estudante, na situação de responsável pela criança em questão, realizaria uma reflexão bioética para ponderar a sua escolha.

Contudo, foi possível verificar que a ideia de o tratamento experimental ter a possibilidade de cura para a doença em questão foi a mais comum entre os discentes (12). Observamos em suas respostas que eles compreendem que um tratamento experimental faz parte do método científico e se refere a um tratamento onde sua eficácia ainda está em fase de teste. Percebe-se, inclusive, que cinco estudantes (A04, A07, A11, A16 e A25) têm conhecimento de que os dados produzidos pelos testes representam resultados de uma pesquisa científica. Com isso, os dados do experimento representam uma etapa do processo de investigação científica que serve como evidência para refutar ou corroborar a investigação inicial. Entretanto, torna-se necessário ressaltar para os discentes que o “método científico” não

se trata de uma sequência de etapas engessadas e infalíveis, como recomenda GIL-PÉREZ e colaboradores (2001).

Esses resultados encontram respaldo naqueles de ALVES e CALDEIRA (2005), em que foram analisadas as atitudes dos estudantes de 3ª série do Ensino Médio sobre a possibilidade de manipulação do DNA. Na pesquisa das autoras, os discentes listaram maior número de consequências positivas do que negativas sobre a manipulação do DNA e elencaram, principalmente, os benefícios para a saúde humana.

Cinco participantes (A04, A05, A08, A14 e A17) demonstraram emoções em suas respostas. Incluem sensibilidade, afeto e sentimentos de amor paternal, no sentido de “[...] querer o melhor para o filho” e sentimento de arrependimento, como “É melhor correr o risco e ver o resultado do que não tentar e se perguntar pelo resto da vida se teria dado certo”.

Os estudantes A09, A10, A13 e A22 incluíram em suas respostas a ideia do gene como uma unidade que codifica uma característica genética. E apenas o participante A23 afirmou que levaria em conta a vontade da criança que passaria pelo procedimento.

5.1.4.1.2. Análise das respostas do segundo estudo de caso: edição gênica para mudanças antes do nascimento

Na segunda questão contextualizamos um jovem casal que está planejando ter filhos. Eles selecionaram determinadas características como ausência de calvície, estatura mediana e edição de genes relacionados ao câncer de mama. Esse casal buscou um geneticista desejando realizar o procedimento. Nessa questão pedimos aos discentes que se colocassem no lugar do geneticista responsável pelo atendimento do casal e pedimos que explicassem se fariam ou não o procedimento e qual a opinião deles sobre a terapia gênica usada para este fim.

Nossa intenção com esta questão foi verificar o que os participantes consideravam como viável para edição gênica e quais procedimentos não consideraram correto realizar. Esperávamos que eles refletissem no impacto gerado pela edição de genes, não apenas no indivíduo, mas em toda sociedade. Os depoimentos dos estudantes podem ser verificados no QUADRO 7 onde também se pode notar as ideias extraídas das falas.

QUADRO 7 - RELAÇÃO ENTRE O CÓDIGO QUE REPRESENTA OS PARTICIPANTES, RESPOSTAS DOS ESTUDANTES PARA O ESTUDO DE CASO SOBRE EDIÇÃO DE GENES E IDEIAS EXTRAÍDAS DO CONTEXTO

Estudante	Depoimento	Ideia
A01	“Acredito que para os pais se preocuparem com isso é porque já sofreram bullying”.	Proteção contra preconceito Violência física e/ou psicológica
A02	“Bom, eu acho que é meio incorreto, pois o filho ou a filha pode sim acabar com doenças mas pode vim com algo maior e mais preocupante”.	Efeitos colaterais da edição de genes
A03	“Bom não iria concordar com tudo, não acho correto interferir tanto no genes pra algumas coisas fúteis, minha atitude seria conversar com Ana e João explicando que não era assim que as coisas funcionam”.	Proibição de edição para características superficiais Permissão para editar genes relacionados à cura de doenças
A04	“Acho bacana o procedimento, pois evita seus filhos terem doenças como o câncer”.	Permissão para editar genes relacionados à cura de doenças
A05	“É um caso complicado. Eu acho e não acho, pelo caso de doenças eu concordaria com Ana, profissionalmente e pelo atletismo também, porém mexer na estatura do feto é algo sério, pois mexe com a identidade do ser eu realmente ficaria surpresa”.	Proibição de edição para características superficiais Permissão para editar genes relacionados à cura de doenças
A06	“Acho que sim. Estaria fazendo isso e ajudaria a criança num futuro próximo para não sofrer bullying ou de sedentarismo”.	Concorda com a edição de genes Proteção contra preconceito Violência física e/ou psicológica
A07	“Eu ajudaria o casal, pois eles quem um futuro bom para o filho”.	Sentimento paternal
A08	“Se os motivos fossem justificáveis com argumentos bons, faria o procedimento sim. Ouviria o casal e observaria e pensaria se os motivos deles são bons o bastante, conversaria e aconselharia o que parecia compreensível e o que não necessitava exercer”.	Proibição de edição para características superficiais Permissão para editar genes relacionados à cura de doenças
A09	“Eu faria, mesmo não concordando com certas coisas e outras sim. Como citado no texto sobre o câncer de mama. Acho importante e até mesmo concordo com essa questão. Já as outras coisas acho não tão importantes que vá prejudicar a criança”.	Expressar a decisão do casal Proibição de edição para características superficiais Permissão para editar genes relacionados à cura de doenças
A10	“Não, não acho certo mudar a genética natural da criança, porém a mãe de certa forma está certa em querer que seu filho não tenha a mesma doença que ela já tem na família”.	Proibição de edição para características superficiais Permissão para editar genes relacionados à cura de doenças
A11	“Faria, eu acho correto pois tem muitas mulheres que não conseguem engravidar. Então essa é uma maneira de poder realizar seus desejos”.	Concorda com a edição de genes
A12	“Creio que a manipulação genética seja certa para curar doenças ou problemas futuros, dentro desses critérios eu concordo que seja feito, mas para satisfazer caprichos acho errado”.	Proibição de edição para características superficiais Permissão para editar genes relacionados à cura de doenças
A13	“Não faria o procedimento. O casal está escolhendo como a filha vai ser como se ela não pudesse ter nenhum problema e tinha que ser perfeita aos olhos deles”.	Discorda totalmente da edição de genes
A14	“Não, pois por mais que eles querem o melhor para seus filhos, eu acho isso antiético”.	Sentimento paternal Discorda totalmente da edição de genes

A15	“Não acho que tem que escolher porque é uma coisa que vai ficar pra criança”.	Discorda totalmente da edição de genes Acredita que a decisão deve ser do futuro bebê
A16	“Faria a edição. Sim, pois livraria o bebê de doenças e de genes não desejados. Ajudaria o casal”.	Concorda com a edição de genes Permissão para editar genes relacionados à cura de doenças
A17	“Não acho correto uma terapia gênica com tal finalidade. Eu garantiria a ausência de mutação no BRCA1 e no BRCA2, mas com as outras exigências não poderia mudar a genética do futuro bebê e recomendaria um psicólogo”.	Proibição de edição para características superficiais Permissão para editar genes relacionados à cura de doenças
A18	“Das características físicas acho muito desnecessário. Faria somente o procedimento para ausência de mutação gene BRCA1 e BRCA2”.	Proibição de edição para características superficiais Permissão para editar genes relacionados à cura de doenças
A19	“Não faria não. Eu iria explicar que iria ser muito arriscado”.	Efeitos colaterais da edição de genes
A20	“Sim”.	Concorda com a edição de genes
A21	“Sim”.	Concorda com a edição de genes
A22	“Eu aconselharia a não fazer esse procedimento por que isso são genética e se eles tirassem isso dos filhos dele não teriam praticamente nada da genética dos pais”.	Edição de genes implica em perda de afinidade genética com os pais
A23	“Eu acharia correto, mais os pais e a criança tem que aceitar. Eu ficaria surpreso”.	Concorda com a edição de genes Expressar a decisão do casal
A24	“Acho a forma de que eles pensaram para seu filho está correta, por eles quererem o bem para o filho deles, eu deixaria eles decidirem”.	Sentimento paternal Expressar a decisão do casal
A25	“Não acho correto modificar o dna apenas para isso”.	Proibição de edição para características superficiais

Fonte: A autora (2022).

A análise das respostas (QUADRO 8) nos mostrou que dois estudantes relacionaram a edição de genes do caso descrito a uma estratégia de proteção ao preconceito. Esses mesmos estudantes incluíram em suas respostas os efeitos do preconceito, como a violência física e psicológica. VIANNA; SOUZA e REIS (2015) investigando a percepção de estudantes do ensino médio sobre práticas de bullying em aulas de educação física, constataram que há maior frequência de agressões verbais (75%), seguidas de agressões emocionais (18%) e de agressões físicas (6%). PARDO e colaboradores (2012) em entrevista com 47 aprendizes do ensino médio, verificaram que 28% dos participantes já presenciaram alguma forma de agressão verbal no ambiente escolar e 17% afirmaram já terem presenciado situações de agressão física. Nesta vertente, observa-se que parte dos discentes vivenciam cotidianamente situações de violência física e/ou psicológica. Por isso, não nos surpreende que os participantes de nossa pesquisa, mesmo em menor número, tenham justificado suas respostas de modo a refletir sobre situações de preconceito.

Outros dois participantes consideraram ser incorreto a edição de genes no caso descrito pelo seu potencial de trazer efeitos colaterais indesejados. CARLI; SOUZA e PEREIRA (2017)

descrevem os aspectos positivos da edição de genes por CRISPR/Cas-9, mas também relatam que esse mecanismo pode ser letal para a célula ou resultar em inserções ou deleções indesejadas de alguns pares de bases. BERGEL (2017) aponta que os riscos da edição de genes a longo prazo são desconhecidos e inevitáveis. Dessa forma, os discentes estão corretos ao relacionarem os impactos que a edição de genes pode causar no indivíduo.

QUADRO 8 – IDEIAS EXTRAÍDAS DAS RESPOSTAS DO ESTUDO DE CASO SOBRE EDIÇÃO DE GENES DE UM FUTURO BEBÊ, CÓDIGO QUE REPRESENTA OS ESTUDANTES E NÚMERO DE ALUNOS

Ideia	Alunos	Número de alunos
Proteção contra preconceito	A01, A06	2
Violência física e/ou psicológica	A01, A06	2
Efeitos colaterais da edição de genes	A02, A19	2
Proibição de edição para características superficiais	A03, A05, A08, A09, A10, A12, A17, A18, A25	9
Permissão para editar genes relacionados à cura de doenças	A03, A04, A05, A08, A09, A10, A12, A16, A17, A18	10
Sentimento paternal	A07, A14, A24	3
Expressar a decisão do casal	A09, A23, A24	3
Concorda com a edição de genes	A06, A11, A16, A20, A21, A23	6
Discorda totalmente da edição de genes	A13, A14, A15	3
Acredita que a decisão deve ser do futuro bebê	A15	1
Edição de genes implica em perda de afinidade genética com os pais	A22	1

Fonte: A autora (2022).

As análises das respostas também nos mostram que nove estudantes não consideraram correta a edição de genes para características frívolas, como a calvície e a aptidão física, por exemplo. Dez dos participantes validam a edição de genes, desde que seja para curar doenças.

BERGEL (2017) afirma que aqueles que defendem e estabelecem esses critérios para o uso das ferramentas de edição gênica temem o surgimento de uma “nova eugenia” e o aumento das desigualdades sociais. De acordo com o autor, a edição de genes deve ser para prevenção e cura de doenças e não para suprir vaidades do homem. Essas opiniões também são defendidas por outros autores, como SGANZERLA e PESSINI (2020), e VIEIRA e colaboradores (2020). Nossas discussões em sala de aula mostraram que essas são as opiniões da maior parte dos

participantes. Sendo assim, verificamos que, respeitando o nível de conhecimento e maturidade, as justificativas dos nossos estudantes condizem com a discussão bioética trazida na literatura.

Três estudantes (A07, A14, A24) demonstraram sentimentos em suas respostas, sendo que um deles (A14), também demonstrou esses sentimentos nas respostas da questão 1 do estudo de caso sobre ACL. Essas respostas apresentam variações de “[...] por eles quererem o bem para o filho deles [...]”.

Detectamos também que três dos discentes (A09, A23, A24) justificaram que respeitariam a decisão do casal. Percebe-se que A23 afirma realizar o procedimento conforme a vontade do casal de forma semelhante à sua resposta dada no caso 1 sobre ACL. Nesse sentido, observamos uma certa coerência na linha de pensamento dos estudantes diante dos casos relatados.

Os estudantes A06, A11, A16, A20, A21 e A23 demonstraram concordar com a edição de genes. Contudo, a resposta de A16 está condicionada a edição de genes relacionados à cura de doenças. Já A20 e A21 responderam com apenas ‘sim’, não sendo possível compreender melhor o ponto de vista desses participantes.

Três dos discentes (A13, A14, A15) afirmaram discordar da edição de genes. Nas respostas deles é possível identificar uma visão do genoma como algo sagrado, que não se deve ser alterado. Segundo BERGEL (2017), aqueles que discordam da edição de genes podem ver o genoma humano como um patrimônio inviolável no sentido de perda da natureza humana. De maneira semelhante, observa-se a resposta de A22 que remete a edição de genes do bebê a perda de identidade com os pais. Nesse sentido, verifica-se que alguns estudantes consideram que editar genes humanos provoca a perda de identidade e natureza humana.

Apenas um estudante (A15) afirma que decisão para a edição de genes deve ser do futuro bebê. Sendo assim, podemos entender que o participante não concorda com a manipulação genética na linhagem germinativa.

5.1.4.1.3. Análise das respostas do terceiro estudo de caso: Esclerose Lateral Amiotrófica (ELA)

No terceiro estudo de caso solicitamos aos estudantes para supor que eles seriam submetidos a um teste genético para a esclerose lateral amiotrófica (ELA) aos 18 anos de idade. Antes de realizar o teste eles deveriam estar cientes de que se trata de uma doença

neurodegenerativa progressiva em que em 90% dos casos são esporádicos e que apenas 10% dos casos apresentam padrão de herança autossômica dominante ou recessiva.

Dado o contexto, perguntamos se haveria motivos ou não para a realização do teste. Se eles, nesta situação, o fariam. E se, caso fossem o geneticista, realizariam o teste em seus pacientes. Para responder esse exercício, esperávamos que os discentes refletissem que se trata de uma doença de início tardio, sem cura e que em apenas 10% dos casos se mostra um padrão de herança genética. Nossa intenção era que eles pensassem no risco/benefício para o indivíduo de ser submetido a um teste genético em que a maior porcentagem de casos não tem relação com a herança genética. Apresentamos no QUADRO 9 os recortes das respostas dos estudantes.

QUADRO 9 – RELAÇÃO ENTRE O CÓDIGO QUE REPRESENTA OS PARTICIPANTES, RESPOSTAS DOS ESTUDANTES PARA O ESTUDO DE CASO SOBRE EDIÇÃO DE GENES E IDEIAS EXTRAÍDAS DO CONTEXTO

Estudante	Depoimento	Ideia
A01	“Ajudar porque ai a pessoa pensa no que vai fazer ou não”.	O resultado do teste pode auxiliar na reflexão sobre os objetivos da vida
A02	“Acho que ajudar, pois assim você iria saber o que tá acontecendo com você”.	Auxiliar a se preparar para o desenvolvimento da doença
A03	“Seria meio termo, pois eu taria ajudando lhe informando sobre o risco da doença e que poderia se transmitir pra futuros descendentes. É triste seria pois teria muito pra enfrentar e tratar”.	Auxiliar a se preparar para o desenvolvimento da doença
A04	“Depende da doença e se o tratamento está no início da doença e se tem como tratar e não é ‘tempo’ jogado fora pode ajudar, mas se já está avançada, por exemplo, angustia o paciente e seus familiares”.	Auxiliar a se preparar para o desenvolvimento da doença O resultado do exame pode afetar psicologicamente o paciente e a família
A05	“Na verdade, eu acho os dois, no meu caso gostaria de saber dessa informação”.	O resultado do exame pode afetar psicologicamente o paciente e a família Auxiliar a se preparar para o desenvolvimento da doença
A06	“Ajudar para saber se é seguro ou não fazer o teste”.	O teste genético pode não ser seguro
A07	“Depende da condição mental da pessoa de contar com cuidado ajuda a pessoa a ficar menos angustiada”.	O resultado do exame pode afetar psicologicamente o paciente e a família Auxiliar a se preparar para o desenvolvimento da doença
A08	“Iria angustiá-la, deixará hesitante com a possibilidade de dar um resultado negativo”.	O resultado do exame pode afetar psicologicamente o paciente e a família
A09	“Talvez possa ajudar e ao mesmo tempo não, porque a pessoa pode continuar angustiada, mas ela pode se preparar e principalmente preparar mentalmente sua cabeça”.	O resultado do exame pode afetar psicologicamente o paciente e a família Auxiliar a se preparar para o desenvolvimento da doença
A10	“Dependendo do resultado for positivo eu ficaria angustiada sim”.	O resultado do exame pode afetar psicologicamente o paciente e a família

A11	“Saber é importante para o paciente ter certeza do que ele vai viver e dos riscos também”.	O resultado do teste pode auxiliar na reflexão sobre os objetivos da vida Auxiliar a se preparar para o desenvolvimento da doença
A12	“Ajudar a pensar mais sobre suas decisões”.	O resultado do teste pode auxiliar na reflexão sobre os objetivos da vida
A13	“Os dois, pois sabendo ela poderá escolher se vai fazer ou não por mais que fique com medo”.	O teste genético pode não ser seguro
A14	Não respondeu	
A15	“Depende da pessoa porque não é todo mundo que tem medo mais se for para cura eu faria”.	O teste genético pode não ser seguro
A16	“Ajudar. Se desse errado, a pessoa iria me culpar”.	O teste genético pode não ser seguro
A17	“Vai ajudar, pois pode tratar qualquer doença antes de progredir e saber as possíveis chances”.	Auxiliar a se preparar para o desenvolvimento da doença
A18	“Angustiar a pessoa, por mais que seja um geneticista muito competente. As chances de dar errado são muito maiores do que dar certo”.	O teste genético pode não ser seguro
A19	“Depende da pessoa, porque existe vários tipos de pessoa. Tem gente que mesmo sabendo dos riscos iria fazer, mais tem gente que não iria fazer devido ao risco”.	O teste genético pode não ser seguro
A20	“Não”.	
A21	Não respondeu.	
A22	“Na minha opinião pode angustiar a pessoa, por motivos de deixar ela com medo, insegura de não da certo”.	O resultado do exame pode afetar psicologicamente o paciente e a família O teste genético pode não ser seguro
A23	“Angustiar a pessoa. Porque são muitos riscos e poucas vantagens eu não faria o procedimento se fosse o paciente”.	O resultado do exame pode afetar psicologicamente o paciente e a família O teste genético pode não ser seguro
A24	“Angustiar, pois não sabemos o que a doença pode ocasionar, e por pressão psicológica dos médicos”.	O resultado do exame pode afetar psicologicamente o paciente e a família
A25	“Acredito que tem um pouco dos dois lados, porém prefiro saber se tenho ou não a doença”.	Auxiliar a se preparar para o desenvolvimento da doença. O resultado do exame pode afetar psicologicamente o paciente e a família

Fonte: A autora (2022).

Nossa primeira pergunta nesse estudo de caso era para os discentes justificarem os motivos para realizar ou não o teste genético citado no texto. Um total de 17 estudantes justificou afirmando que realizariam o teste, cinco responderam que não fariam o teste e três deixaram a questão sem resposta.

De maneira geral, os 17 estudantes responderam que fariam o teste, pois achariam importante descobrir se possuem ou não a doença. No contexto dessas respostas, a resposta de A25 foi a que mais destoou das demais. O aluno justificou que gostaria de saber se apresenta o

gene para essa doença e se ele pode passar essa herança para seus futuros filhos. Quanto às respostas contrárias a realização do teste, a que mais nos chamou atenção foi a de A11 que afirmou que não gostaria de realizar o teste, pois se ficasse sabendo que teria a doença ficaria triste.

No Quadro 10 buscamos relacionar as ideias extraídas das respostas e o número de estudantes respondentes. Destaca-se que três participantes não responderam esse estudo de caso e, por isso, suas respostas não foram contabilizadas nos QUADRO 9 e QUADRO 10.

QUADRO 10 – IDEIAS EXTRAÍDAS DAS RESPOSTAS DO ESTUDO DE CASO SOBRE TESTE GENÉTICO PARA ELA, CÓDIGO QUE REPRESENTA OS ESTUDANTES E NÚMERO DE ALUNOS

Ideia	Alunos	Número de alunos
O resultado do teste pode auxiliar na reflexão sobre os objetivos da vida	A01, A11, A12	3
Auxiliar a se preparar para o desenvolvimento da doença	A02, A03, A04, A05, A07, A09, A11, A17	8
O resultado do exame pode afetar psicologicamente o paciente e a família	A04, A05, A07, A08, A09, A10, A22, A23, A24	9
O teste genético pode não ser seguro	A06, A13, A15, A16, A18, A19, A22, A23	8

Fonte: A autora (2022).

A análise das respostas nos mostrou que três estudantes consideraram que realizar o teste genético para esclerose lateral amiotrófica (ELA) poderia os fazer refletir sobre os seus objetivos de vida. Nesse contexto, a pessoa, se portadora da doença pode examinar a si mesmo, pensar e tomar atitudes segundo o que realmente importa para ela. De acordo com os discentes, ela poderia começar a se dedicar a realizar o que gosta, como viajar, praticar esportes ou passar mais tempo com a família.

Oito dos estudantes afirmaram que os testes genéticos podem ser falhos e gerarem efeitos colaterais. Outros oito dos 25 alunos (A02, A03, A04, A05, A07, A09, A11, A17) afirmaram que, caso o resultado do exame seja positivo, esse resultado, ainda que muito antes dos sintomas iniciarem, pode auxiliar o portador da doença a procurar melhores e mais recentes tratamentos a fim de amenizar a sua dor e desconforto. Entretanto, nove estudantes relacionaram em suas respostas que o resultado positivo do exame genético pode afetar psicologicamente o paciente e sua família.

De acordo com ZAGALO-CARDOSO e ROLIM (2005) o risco para doenças genéticas de início tardio gera sobrecarga emocional aos pacientes e familiares. Essa sobrecarga pode afetar diretamente os projetos de vida, as relações e a organização pessoal e familiar. Pela sua

experiência, ZATZ (2011) afirma que as pessoas reagem a esse tipo de notícia de formas diferentes. Dessa forma, podemos entender que é possível que as pessoas reajam aos resultados dos testes genéticos de maneira semelhante àquelas relatadas pelos participantes. Algumas pessoas podem reagir valorizando cada momento da sua vida e outras podem agir se depreciando.

5.1.4.1.4. Análise das respostas do quarto estudo de caso: Doença de Huntington

No quarto estudo de caso contextualizamos a história de Camila, uma mulher de 25 anos que, ao ser submetida a um teste genético, descobriu ter grande risco de desenvolver a Doença de Huntington. Em nossa história, Camila é mãe de duas meninas, uma de 7 e outra de 5 anos. Considerando que se trata de uma doença autossômica dominante, suas filhas têm 50% de chance de ter herdado o gene para essa doença.

Nesse contexto, perguntamos aos estudantes se Camila teria obrigação de contar às suas filhas ou aos seus parentes sobre os resultados do seu exame genético. Nossa intenção foi promover a reflexão de questões bioéticas, como a submissão precoce à testes genéticos para doenças de início tardio e o direito ao sigilo médico.

Como o número de itens desta questão é maior optamos por apresentar no Apêndice F deste trabalho, os recortes das respostas com as ideias extraídas. Sua contabilização se encontra no QUADRO 11.

QUADRO 11 – IDEIAS EXTRAÍDAS DAS RESPOSTAS DO PRIMEIRO ITEM DO ESTUDO DE CASO SOBRE TESTE GENÉTICO PARA DOENÇA DE HUNTINGTON, CÓDIGO QUE REPRESENTA OS ESTUDANTES E NÚMERO DE ALUNOS

Ideia	Alunos	Número de alunos
Deve contar aos familiares e às filhas	A01, A02, A03, A04, A06, A07, A09, A11, A13, A15, A19, A22, A23, A24	14
Obrigação moral de contar aos familiares	A05, A08, A16, A17	4
Não tem o dever de falar aos familiares e às filhas	A12, A25	2
Obrigação legal de relatar seu caso aos familiares	A14, A18	2

Fonte: A autora (2022).

Dois dos estudantes não responderam à questão (A10 e A21). A20 respondeu com apenas “Sim”, não sendo possível compreender melhor o seu ponto de vista. 20 dos participantes consideraram que Camila deveria contar as suas filhas e seus familiares os resultados dos exames genéticos. A05, A08, A16 e A17 afirmam que a personagem teria

obrigação moral de contar às suas filhas e seus familiares. Já A14 e A18 relatam que ela teria obrigação legal.

Apenas dois estudantes (A12 e A25) disseram que Camila não tem obrigação alguma de falar sobre o teste com os seus parentes. Entendendo que a moral é um conjunto de regras que regem uma determinada comunidade, consideramos que a personagem em questão não tem obrigação moral e nem legal para relatar aos seus parentes e filhos os resultados dos seus testes. ZATZ (2011) ressalta que os testes e aconselhamento genético são voluntários e suas informações são confidenciais.

No segundo item, perguntamos aos estudantes se, caso fossem o geneticista responsável pelo teste genético, diria os resultados de Camila aos seus parentes. Nosso objetivo foi discutir a situação do ponto de vista do geneticista sob a perspectiva bioética. As ideias extraídas das respostas dos participantes podem ser verificadas no QUADRO 12. Os estudantes A10 e A21 não responderam à questão e, portanto, não tiveram suas respostas contabilizadas no Quadro 12. Da mesma forma que anteriormente, as unidades de registro utilizadas e as ideias retiradas de cada fala podem ser visualizadas no Apêndice F do trabalho.

A análise das respostas à segunda pergunta evidenciou que nove dos estudantes (A01, A08, A13, A15, A18, A19, A22, A23, A24), caso fossem o geneticista responsável pelo exame genético, diriam o resultado do teste aos familiares próximos da paciente. A04 incluiu em sua resposta a ideia de que revelaria o resultado do exame de Camila aos familiares apenas se a família ou a paciente estivesse com alto risco de morte. Já A07, A16, A17 e A25 afirmaram que somente comentariam os resultados do exame com os familiares com a autorização da paciente.

Por outro lado, sete participantes (A02, A03, A04, A06, A09, A14, A16) argumentaram que não falariam dos resultados do teste genético com os familiares da paciente. Segundo esses estudantes, eles deixariam que a própria paciente contasse a seus familiares. A20 disse que não diria aos familiares, pois segundo o aluno, a família não deve saber dos resultados do teste. A11 apenas respondeu que não diria às filhas de Camila pelo fato de elas ainda serem crianças e não apresentarem maturidade suficiente para compreender o caso. Entretanto, A05, A06, A12 e A17 justificaram que não deveriam revelar os resultados aos familiares, pois há o sigilo profissional que deve ser respeitado.

QUADRO 12 – IDEIAS EXTRAÍDAS DAS RESPOSTAS DO SEGUNDO ITEM DO ESTUDO DE CASO SOBRE TESTE GENÉTICO PARA DOENÇA DE HUNTINGTON, CÓDIGO QUE REPRESENTA OS ESTUDANTES E NÚMERO DE ALUNOS

Ideia	Alunos	Número de alunos
-------	--------	------------------

Contaria aos familiares independentemente da permissão da paciente	A01, A08, A13, A15, A18, A19, A22, A23, A24	9
Não diria aos familiares. Deixaria para a paciente dizer	A02, A03, A04, A06, A09, A14, A16	7
Diria aos familiares em caso de extremo risco de morte	A04	1
Não diria aos familiares devido ao sigilo profissional	A05, A06, A12, A17	4
Contaria aos familiares com a permissão da paciente	A07, A16, A17, A25	4
Não diria às filhas da paciente pela falta de maturidade delas	A11	1
Não diria aos familiares, pois eles não devem de saber	A20	1

Fonte: A autora (2022).

FETT-CONTE e colaboradores (2013) ressaltam que o aconselhamento genético é fundamental para auxiliar os pacientes e consulentes a compreender as condições genéticas que estão envolvidas. Segundo DINIZ e GUEDES (2005) dar credibilidade à prática do aconselhamento genético é um dos grandes desafios da genética moderna. Para os autores, o aconselhamento genético pode ser entendido como o meio termo entre o serviço social e a clínica médica. O profissional que atua nessa área deve saber transmitir com veracidade o diagnóstico, as probabilidades e os riscos ao mesmo tempo que avalia o impacto dessa informação genética na vida das pessoas que a recebem.

BEIGUELMAN (1997) argumenta que pelo princípio da privacidade, toda a informação genética, incluindo os resultados dos exames são confidenciais e devem continuar dessa forma mesmo depois da morte do paciente. Já DINIZ e GUEDES (2005) justificam que a informação genética é privada, mas também se trata de uma informação familiar.

ZATZ (2011) afirma que não há um consenso para lidar com situações como essa no Brasil e nem em outros países. Há um dilema entre o dever de relatar a terceiros o risco e o dever a confidencialidade do paciente. Segundo a autora:

[...] nessas situações-limite, em que a vida de outras pessoas está em jogo com a manutenção do segredo, os profissionais de saúde têm a obrigação de procurar formas alternativas de prevenir o perigo, antes de optar pela quebra de confidencialidade (ZATZ, 2011, p. 57).

Sendo assim, percebemos que as diversas opiniões dos estudantes condizem com os diferentes pontos de vista encontrados na literatura. É direito do paciente não ter seus dados clínicos divulgados, mas essa divulgação pode auxiliar os familiares a entender a doença e toda situação.

No terceiro item desse estudo de caso perguntamos para os estudantes se eles achariam correto testar as filhas de Camila, mesmo sabendo que a Doença de Huntington somente se manifesta em adultos. Gostaríamos que os participantes refletissem que, se o resultado do teste for positivo, não haveria nada que pudesse ser feito para as crianças. O resultado poderia gerar problemas emocionais e psicológicos nas crianças e na família.

Buscamos identificar as ideias contidas nas respostas de cada estudante. O QUADRO 13 estabelece a relação entre as ideias extraídas das unidades de registro e os respectivos alunos. As unidades de registro analisadas podem ser verificadas no Apêndice F.

QUADRO 13 – IDEIAS EXTRAÍDAS DAS RESPOSTAS DO TERCEIRO ITEM DO ESTUDO DE CASO SOBRE TESTE GENÉTICO PARA DOENÇA DE HUNTINGTON, CÓDIGO QUE REPRESENTA OS ESTUDANTES E NÚMERO DE ALUNOS

Ideia	Alunos	Número de alunos
Testar as filhas apenas na fase adulta	A01, A03, A04, A06, A14, A18, A23, A24	8
Testar as filhas ainda criança	A02, A04, A05, A07, A08, A09, A11, A12, A13, A15, A16, A17, A19, A25	14
Realizar tratamento precoce	A04, A05, A08, A16, A25	5
Se preparar psicologicamente para enfrentar a doença na fase adulta	A13	1
Não submeter as crianças ao teste genético	A20, A22	2
Teste genético pode causar danos ao paciente	A22, A24	2

Fonte: A autora (2022).

Os estudantes A10 e A21 novamente não responderam à questão, e, por isso não podem ser encontrados no QUADRO 13. Analisando as respostas ao questionamento pode-se observar que oito participantes (A01, A03, A04, A06, A14, A18, A23, A24) expressaram em suas respostas a ideia de realizar o teste genético apenas quando as filhas de Camila já estiverem na fase adulta. A resposta de A06 inclui muito bem esta ideia: *“Acho que não, talvez elas mesmas façam quando forem adultas já que é uma doença que só é manifestada quando adulto”*. Demonstrando que o tratamento só pode ser realizado na fase adulta, quando os sintomas surgirem.

Em contrapartida, 14 dos discentes (A02, A04, A05, A07, A08, A09, A11, A12, A13, A15, A16, A17, A19, A25) justificaram que seria melhor testar as meninas ainda criança. A04 se destaca por argumentar testar as meninas ainda crianças e na fase adulta: *“Não sei, ela poderia esperar elas ficarem adultas mas poderia começar cedo o tratamento e evitar no futuro piorar”*. Com a resposta deste estudante podemos perceber que alguns participantes não compreenderam que os sintomas da doença somente se manifestam na fase adulta. A04, A05, A08, A16 e A25 relataram que seria interessante iniciar o tratamento quando as meninas ainda

são crianças. Suspeitamos que os discentes confundiram o tratamento com medidas de prevenção. Eles parecem também não ter entendido que a única profilaxia para essa doença é o aconselhamento genético.

Apenas A13 argumentou que seria importante as crianças se preparem psicologicamente para enfrentar os sintomas da doença na fase adulta. Já A20 e A22 explicaram ser contrários a submissão das crianças ao teste genético. A22 e A24 não concordam com a submissão ao teste genético, pois segundo eles, o exame poderia produzir algum efeito colateral danoso nas crianças.

ZATZ (2011) explica que o aconselhamento genético existe para levar informações às pessoas para que elas tomem suas próprias decisões de forma autônoma e consciente. A autora afirma ser totalmente contra testar crianças para doenças de início tardio. Ainda ressalta que é preciso disponibilizar todas as informações e esclarecer muito bem para a pessoa interessada que só se deve realizar o teste genético se houver condições emocionais para isso. Dessa forma, concordamos com a autora e verifica-se que as crianças no caso relatado não teriam essas aptidões para a realização do procedimento, não sendo adequado submetê-las a isso.

5.1.5. Aula 5 – Discussão e documentário sobre CRISPR/Cas9

No quinto encontro, visando complementar a compreensão sobre a técnica CRISPR e promover uma discussão bioética, os discentes foram convidados a assistir o segundo episódio ('DNA projetado') da série documental Explicando (KLEIN et al., 2018). Neste episódio são discutidos a ferramenta CRISPR e os riscos e conflitos éticos relacionados à edição de genes. A produção estreou em 2018 e conta com episódios de aproximadamente 20 minutos cada. O objetivo da série é explicar de um jeito mais fácil diferentes temas da atualidade, como K-POP, inteligência animal, criptomoedas, edição de genes, vida extraterrestre, entre outros (GLIOCHE, 2018).

Nosso objetivo nesta aula foi apresentar aos educandos que a edição de genes é um tema controverso, não podendo ser resolvido apenas baseando-se nas técnicas de edição, como CRISPR/Cas9, mas requer discussão de valores éticos, pessoais, sociais, políticos e econômicos. Buscamos mostrar que essas discussões são feitas no meio social e acadêmico, que inclusive há conflito de opiniões entre os especialistas (REIS; GALVÃO, 2005; ZUIN; FREITAS, 2007). Nossa intenção foi ainda lembrá-los que eles próprios são atores em nossa sociedade e que são diretamente afetados pela implementação de tecnologias. Neste sentido,

eles, enquanto cidadãos, podem se posicionar contra ou a favor do uso das tecnologias e, em específico, das biotecnologias de edição de genes.

Após a execução do vídeo, realizamos uma breve discussão com os participantes e eles, mais uma vez, se mostraram entusiasmados com o tema. Muitos afirmaram que o vídeo foi essencial para a melhor compreensão da ferramenta de edição de genes em questão. O estudante A04 afirmou que pelos textos fornecidos ele não havia compreendido muito bem a aplicabilidade de CRISPR, mas que o vídeo o auxiliou nesse quesito e foi de grande utilidade. Segundo os participantes, o documentário apresentado enriqueceu as discussões que seriam realizadas na próxima aula.

O discente A17 afirmou que não aprova a edição de genes para acondroplasia ou síndrome de Down, pois segundo ele são pessoas normais. Sua afirmação corrobora com o ponto de vista apresentado por uma personagem do documentário. Diante dos comentários da turma, pudemos verificar que os objetivos da nossa aula foram cumpridos, pois a execução do vídeo contribuiu para promover a reflexão ética dos estudantes sobre a edição de genes.

Nosso planejamento para esta aula era incluir o professor de Filosofia e de Ciências Humanas e suas Tecnologias da turma visando uma complementação do aspecto moral e ético de nossa discussão. Consideramos que, além de envolver outras disciplinas no trabalho, os professores dessa área de ensino possuem maior propriedade para instigar os estudantes nessa discussão. Entretanto, o período de aplicação dessa sequência didática coincidiu com o período de greve e de lutas pela carreira dos professores do Estado de Minas Gerais. Sendo assim, não foi possível realizar a aula em conjunto. Entretanto, para futuras aplicações, recomendamos que essa aula seja implementada em conjunto os professores das referidas disciplinas.

5.1.6. Aula 6 e 7 – Apresentações dos grupos sobre CRISPR/Cas9

Nas aulas 6 e 7 ocorreram as apresentações dos grupos. Almejávamos verificar se os estudantes compreenderam a técnica e suas aplicações na genética moderna. Ressalta-se que não tínhamos por intenção avaliar como certo ou errado o ponto de vista dos grupos. O nosso interesse foi trabalhar a argumentação e a capacidade de síntese das informações. A apresentação oral favorece a compreensão, uma vez que só conseguimos explicar algo que compreendemos.

Nosso objetivo não foi fazer com que os estudantes compreendessem em detalhes como essa ferramenta funciona, mas entender que atualmente existem técnicas de edição de genes, de

certa forma, simples e de baixo custo que podem alterar a expressão gênica e, com isso, alterar as características do indivíduo. Sendo assim, entendemos que as instituições de pesquisa, os órgãos governamentais e a sociedade precisam dialogar e decidir quais são os limites e possibilidades para essas técnicas.

Todos os grupos, de forma geral, explicaram corretamente em que consiste CRISPR, sua origem e as enzimas Cas. Elucidaram que se trata de um mecanismo natural de bactérias em defesa a infecções virais. Apontaram suas aplicações na agricultura, na indústria e na área da saúde. Além disso, conforme solicitado, listaram os aspectos negativos do uso de CRISPR, que incluem: danos ao DNA clivado, promovendo inserção ou deleção de nucleotídeos, perda de função dos genes; diminuição da tendência a apresentar certas doenças, mas aumentando a vulnerabilidade a outras. Citaram que apesar do alto grau de especificidade de CRISPR, pode haver corte ou deleção de outros segmentos do DNA que não seja o alvo, caso esse segmento apresente uma sequência semelhante ao do RNA guia.

Aproveitamos as discussões para também ressaltar a simplicidade e o baixo custo que essa técnica apresenta em relação às outras ferramentas de edição gênica. Observamos que os participantes utilizaram, em sua maioria, os textos de COSTA (2021); AFP (2020); e de CARLI; SOUZA e PEREIRA (2017). A reportagem de G1 (2018), que fala sobre o cientista chinês que disse ter editado os genes de bebês para deixá-los imunes ao HIV, também causou grande impacto nos estudantes e foi utilizada como material de referência para as apresentações.

De acordo com Paulo Freire, não se pode dissociar a ética dos seres humanos. Nesse sentido, não é possível ensinar os conteúdos sem se preocupar com a formação moral dos estudantes (FREIRE, 2021). Sendo assim, ao final das apresentações, perguntamos aos discentes se eles concordavam em utilizar a técnica CRISPR para editar genes humanos. Desenhamos na lousa um quadro semelhante ao que foi apresentado no documentário, separando em duas colunas os conceitos “células germinativas” e “células somáticas” e nas linhas, os conceitos de “terapia gênica” e “melhoramento genético”. Nossa intenção foi verificar quais seriam as opiniões dos estudantes sobre a edição de genes nestes contextos.

De maneira geral, os estudantes concordam em editar genes humanos para curar doenças como o câncer, por exemplo, mas discordam em editar genes por motivos “fúteis”; segundo eles, a calvície, por exemplo. Um dos grupos citou que conhece várias pessoas que possuem necessidades físicas e cognitivas especiais, mas que elas se aceitam como são.

O discente A17 disse que sempre haverá pessoas que desejam mudar suas características, mas haverá quem não queira mudar. Haverá também quem queira mudar, mas não tenha recursos financeiros para isso. O estudante ainda afirmou que deveremos sempre respeitar a decisão dos pais que não querem submeter seus futuros filhos à edição gênica. Ao final de sua fala ainda propôs uma reflexão para turma: “E a opinião do futuro bebê que ainda não nasceu? Não conta?”.

A08, baseando-se em suas pesquisas para apresentação, afirmou que muitos deficientes estão inseridos na nossa sociedade, mas não estão incluídos nela. Disse ainda que editar o DNA das pessoas não irá resolver as questões de *bullying*. A04 complementou dizendo que não concorda em editar genes para deficiências, pois isto não irá resolver o problema. Segundo ele, é preciso mudar o pensamento da sociedade para aceitar as diferenças.

Refletindo a respeito das contribuições pertinentes dos estudantes, podemos pensar em Foucault que traz o conceito de “anormal” para todos os indivíduos que não se encaixam no padrão estabelecido pela sociedade em que vivem. Para ele, os regimes geram relações de poder em que o “repressor” desenvolve formas de controle que transformam o seu poder em verdades que devem ser aceitas socialmente. Com isso, esses corpos “anormais” ficam sujeitos a todo tipo de violência social (CEZAR, 2020).

5.1.7. Aula 8, 9 e 10 – Júri simulado

Segundo FREIRE (2021) ensinar ciência e tecnologia do professor exige o compromisso ético. Concordando com o autor, ensinar de maneira correta requer muito trabalho por parte do professor e do discente, mas promove real compreensão e interpretação dos fatos. Nessa perspectiva, promovemos nas aulas 8, 9 e 10 da sequência didática um júri simulado a respeito das aplicações da ferramenta CRISPR/Cas9 para edição do DNA. Com essa ferramenta metodológica planejamos e obtivemos aumento do protagonismo estudantil utilizando e valorizando a criatividade e as representações artísticas, além de engajá-los em questões de interesse público e coletivo, conforme orienta os documentos oficiais, por exemplo, BRASIL (2002, 2018).

Para essa atividade, organizamos uma única apresentação de júri para quatro turmas da 1ª série. As classes foram divididas em grupos de acordo com os personagens que atuam em um júri, tais como: juiz, advogados de defesa, promotoria, réu, testemunhas de defesa e de acusação, profissionais que podem atuar no processo (geneticista, médico, paciente, assistente social, policial, entre outros), vítima e o júri popular. Além disso, os participantes também

selecionaram papéis de equipe técnica do teatro, como cenógrafos, diretores, roteiristas, figurinistas e apoio de set (FIGURA 3). Nossa intenção foi dar liberdade e autonomia aos estudantes para que eles mesmos decidissem qual(quais) papel(papeis) queriam desempenhar (MEDEIROS; MELLO; GARCIA, 2019).

Segundo SCARPA e CAMPOS (2018) para o desenvolvimento do raciocínio crítico é essencial que discentes tenham vivência em situações reais e/ou simuladas da sociedade. Para subsidiar a execução da tarefa, preparamos uma pequena cartilha informando a função, a importância de cada personagem no júri e da equipe técnica, bem como uma orientação do tempo e etapas do júri (APÊNDICE E). As preparações e ensaios ocorreram no 6º horário e no contraturno, por um período de duas semanas. A equipe de cenografia se reuniu na biblioteca, enquanto os roteiristas e personagens do júri construíam a história no laboratório de informática, ambos espaços escolares que foram disponibilizados pela direção para discussão do trabalho (FIGURA 4).

Nessa encenação, o júri popular ficou responsável por julgar se a ferramenta CRISPR/Cas9 poderia ser usada para editar genes humanos e quais seriam os limites para sua utilização. Nessa etapa de conclusão, conforme o ciclo investigativo proposto por PEDASTE e colaboradores (2015), esperávamos que os estudantes construíssem explicações e argumentos baseados na literatura disponibilizada a fim de fornecer aos jurados todas as informações necessárias para o julgamento da técnica.

FIGURA 3 – PRIMEIRA REUNIÃO PARA DEFINIÇÃO DOS PERSONAGENS E FUNÇÕES NO JÚRI POPULAR



Fonte: arquivo pessoal.

FIGURA 4 – REUNIÃO DOS CENÓGRAFOS (A) E ELABORAÇÃO DO ROTEIRO (B)



Fonte: arquivo pessoal.

Pensando na comunicação dos resultados e valorização do intenso trabalho realizado, o júri foi composto por 20 pessoas da comunidade escolar, incluindo estudantes, professores, funcionários da escola, pais e/ou responsáveis. Nossa intenção foi promover a divulgação do conhecimento científico produzido e engajar outras pessoas da comunidade escolar a participar das discussões.

Todo o processo de construção do roteiro e organização dos personagens, das falas e direção do júri foi realizado pelos próprios estudantes. A professora-pesquisadora buscou

apenas supervisionar sem dar muitas sugestões no processo. A intenção foi justamente elaborar um roteiro para o júri com a menor intervenção possível.

O texto construído pelos alunos para o júri teve como referência o caso das gêmeas que tiveram o seu DNA editado por meio da técnica CRISPR/Cas9 realizada pelo médico chinês (G1, 2018). Naquela situação o médico afirmou ter deixado as crianças imunes ao vírus HIV por meio dessa edição de genes. A história elaborada pelos discentes se passou no futuro, onde as gêmeas já adultas, sofreram um acidente de carro e precisaram passar por uma transfusão sanguínea. O sangue recebido estava contaminado e uma das garotas foi diagnosticada com AIDS. Anos depois, a garota falece e a família decide ir à justiça pedindo a proibição do uso da técnica CRISPR/Cas9 em seres humanos. Segundo a promotoria do caso, a técnica é falha. Já a defesa, argumentou que foi erro humano e não da técnica. Para maiores detalhes, ver o Anexo A deste trabalho.

Analisando o roteiro foi possível observar que os participantes usaram parte do referencial teórico fornecido. Dentre eles, destaca-se a utilização da reportagem de G1 (2018) para a elaboração do contexto do caso e a adaptação do artigo de SOUZA e PEREIRA (2017) para ressaltar aspectos positivos de CRISPR/Cas9.

Nos surpreendeu a empolgação, motivação e disposição de alguns participantes. Um grupo chegou a produzir um tipo de reportagem jornalística convidando os demais estudantes da escola a assistir à peça (ANEXO B). Esse material produzido foi impresso e colado no portão de entrada e no interior da escola e divulgado nas redes sociais de alguns estudantes.

A árdua tarefa para os estudantes e para a professora-pesquisadora culminou com a apresentação do júri na quadra da escola. Além da presença dos pais e/ou responsáveis, alguns funcionários e professores da escola, a apresentação foi assistida por alunos do 9º ano do Ensino Fundamental. Mais uma vez ficamos surpresos ao perceber que a organização e a história construída conseguiram envolver todos que estavam assistindo, pois foi possível notar o silêncio e empolgação da plateia com o desfecho da história (FIGURA 5).

Como parte da representação, os jurados se reuniram por aproximadamente 40 minutos e decidiram que a técnica CRISPR/Cas9 poderia ser usada para editar genes humanos, desde que seja usada para tratamento de doenças e não para edição de características frívolas. Recomendaram também que, para cada procedimento realizado com a ferramenta, deve-se, de antemão, ser feito um estudo por profissionais especializados na área visando determinar os limites para edição genética. As recomendações dos jurados estão de acordo com entidades

internacionais, como a Organização Mundial da Saúde (OMS) (2021) e a literatura existente (BERNARDO-ÁLVAREZ, 2017; CABALLERO-HERNANDEZ; RODRÍGUEZ-PADILLA; LOZANO-MUÑIZ, 2017; CRIBBS; PERERA, 2017; LANDER et al., 2019).

Percebemos que o desenvolvimento da tarefa envolvendo um problema controverso e complexo como a edição de genes, motivou os estudantes a buscar soluções por meio do diálogo e da argumentação. ALBUQUERQUE; VICENTINI e PIPITONE (2015) também relataram resultados satisfatórios ao aplicar a metodologia do júri simulado para a educação ambiental.

FIGURA 5 – APRESENTAÇÃO DO JÚRI POPULAR DA 1ª SÉRIE DO ENSINO MÉDIO PARA ESTUDANTES DO 9º ANO, PROFESSORES, FUNCIONÁRIOS DA ESCOLA, PAIS E RESPONSÁVEIS CONVIDADOS



Fonte: arquivo pessoal.

A decisão do júri promoveu a análise dos dados, avaliação dos resultados e a reflexão sobre as informações e os argumentos levantados. Segundo SCARPA e SILVA (2013) essa é uma etapa importante do ciclo investigativo. Os jurados questionaram que sentiram falta de uma melhor explicação do que consiste, especificamente, a técnica CRISPR/Cas9. Concordamos com os convidados, pois o foco da peça elaborada pelos discentes foi apontar os aspectos positivos e negativos dessa ferramenta. Diante desse questionamento, sugerimos que,

para uma próxima aplicação desta atividade, seja solicitado aos estudantes que incluam a devida explicação sobre a técnica em questão.

5.2. Reflexões sobre a sequência didática

No início desta pesquisa, a SD havia sido planejada para ser desenvolvida em oito aulas por videoconferência, dado o período de isolamento ocasionado pela Covid-19. No entanto, como se pôde ver, a SD pôde ser executada com uma turma da 1ª série no modo presencial e todas as atividades propostas puderam ser realizadas. Contudo, o tempo planejado não foi suficiente para que todas as atividades fossem desenvolvidas dentro do cronograma inicialmente estipulado. Dessa forma, recomenda-se disponibilizar mais aulas para essa SD em futuras aplicações. Observamos que, para a quantidade de questões do questionário e dos estudos de caso que apresentamos aos estudantes, seriam necessárias pelo menos duas aulas de 50 minutos cada. Para a discussão dos conceitos dessas atividades também foram necessárias uma aula para cada (uma para a discussão do questionário e uma para discussão dos estudos de caso).

Se as turmas nas quais essa SD for desenvolvida tiverem a média de 40 alunos, como a classe desta pesquisa, também aconselha-se separar duas aulas para as apresentações em grupo. Já o tempo para a elaboração do roteiro e compreensão de todo o processo do júri simulado, recomendamos que o professor disponibilize diversas aulas e, se possível, use uma delas para passar um filme ou vídeo explicativo sobre a dinâmica do júri popular. Todo o trabalho e distribuição das aulas podem ser pertinentes às novas disciplinas incluídas no currículo do Novo Ensino Médio.

Considerando a carência de compreensão de certos conceitos relacionados à biologia e à química apresentado por alguns estudantes no início do ano letivo, recomendamos que a SD seja aplicada no segundo semestre letivo. Assim, os discentes já terão uma mínima noção dos conceitos de citologia, biologia molecular, átomos e ligações químicas.

Conhecer a edição de genes, tema escolhido para o desenvolvimento de nossa pesquisa, revelou surpresa e admiração por parte dos estudantes. Essa receptividade os levou a produzir atividades que foram além daquelas solicitadas; a desenvolver discussões críticas e maduras; os engajaram a estimular outros membros da comunidade escolar a refletir sobre o tema e a compartilhar suas produções nas redes sociais.

Infelizmente, a implementação desta sequência didática coincidiu com o período de greve dos profissionais da educação e impediu que uma discussão dialogada fosse feita com a disciplina de Filosofia. Acreditamos que esse debate é fundamental para despertar ainda mais o senso crítico dos estudantes diante de questões bioéticas, como as apresentadas no trabalho. A sequência lidou abertamente com temas controversos que são aqueles para os quais não há um consenso na sociedade. Eles, de maneira geral, são relevantes pois permitem a sociedade avaliar os riscos e benefícios relacionados à Ciência e a Tecnologia. A edição de genes e a aplicabilidade da técnica CRISPR/Cas9 trabalhados nesta pesquisa são temas claramente controversos. A abordagem desses temas em sala de aula gera debates, discussões, requerem protagonismo dos discentes e fomentam a formação cidadã, assim como recomenda a BNCC e outros documentos orientadores alicerçados na abordagem CTSA e EnCI. Certamente, o diálogo com a disciplina de Filosofia pode contribuir para ampliar os horizontes dos estudantes para além do senso comum e limites da tecno-ciência.

A abordagem da técnica CRISPR/Cas9 na disciplina de Ciências da Natureza e suas Tecnologias se mostrou uma estratégia eficiente para reflexão dos impactos que as alterações genéticas podem causar na vida do sujeito e da sociedade, bem como na promoção do pensamento ético dos educandos.

A avaliação dos conhecimentos prévios dos estudantes ingressantes no Ensino Médio demonstrou que, apesar de suas inseguranças, eles apresentam certo conhecimento relacionado aos conceitos da genética e da biologia molecular. Percebemos que o processo de síntese de proteína, sua relação com o genótipo e o fenótipo e os mecanismos de expressão gênica se mostraram pouco conhecidos. Entretanto, as discussões realizadas após o preenchimento do questionário os levaram a construir o conhecimento de forma coletiva a ponto de serem capazes de alterar as respostas dadas no questionário. Nesse sentido, o questionário se mostra relevante para ser um ponto de partida nas discussões sobre os conceitos necessários para as próximas atividades das aulas seguintes em vez de ser um instrumento para apontar erros e acertos.

A dificuldade de abstração para compreensão dos conceitos de genética e biologia molecular, física e química também se mostrou um dificultador para a realização das atividades. Recomenda-se que, para futuras aplicações, essa sequência didática seja desenvolvida no segundo semestre letivo. Assim, acreditamos que os estudantes já estarão mais familiarizados com os conceitos abordados nessas disciplinas.

A parte de nossa pesquisa que envolveu a análise de conteúdo das respostas dadas aos estudos de caso apresentados na primeira aula revelou que a implementação dessas situações-problema é uma estratégia eficiente para fomentar discussões bioéticas sobre a edição de genes humanos. Os discentes listaram maior número de consequências positivas do que negativas sobre a manipulação do DNA. Entretanto, a maioria dos estudantes estabeleceu critérios para uso das ferramentas de edição gênica, o que demonstrou maturidade, seriedade com o tema e até o debate controverso que condiz com a literatura.

Durante as discussões em grupos os estudantes se mostraram, de forma geral, a favor da utilização da técnica CRISPR/Cas9 para manipulação de genes humanos, desde que seja para a cura de doenças. Dessa forma, conseguimos trazer para a sala de aula uma produção científica cuja tecnologia é relevante para a sociedade em que os estudantes, ao debater e criticar a edição de genes e as suas ferramentas, desenvolveram habilidades que discutem a ciência e a tecnologia presentes na sociedade.

O júri simulado mostrou ser uma ferramenta eficaz para o ensino de ferramentas de edição de genes numa perspectiva bioética. Ao solicitar aos discentes que elaborassem um júri simulado para uso da ferramenta CRISPR/Cas-9, eles conseguiram: construir hipóteses (ex. CRISPR/Cas-9 pode ser usada para editar genes humanos) baseando-se em evidências presentes em artigos e textos de divulgação científica; selecionar previamente evidências que lhes permitiram explicar suas hipóteses; elaborar argumentos que estivessem de acordo com suas conclusões e, finalmente, fazer uso dessas evidências para tirar suas próprias conclusões e auxiliar outros estudantes e a comunidade escolar refletir sobre o tema e expressar suas próprias considerações. Quando solicitamos a eles realizar a apresentação do júri simulado para os demais estudantes da escola e toda a comunidade escolar, estamos favorecendo a comunicação, a divulgação dos conhecimentos científicos e proporcionando aos estudantes aplicar seus conhecimentos em um contexto diferente (GIL PÉREZ, 1993; SCARPA; SILVA, 2013). Dessa forma, podemos afirmar que a presença de um viés investigativo em nossa sequência didática, contribuiu para o conhecimento e formação cidadã dos nossos estudantes.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS

A execução da sequência, por vezes, se mostrou um trabalho árduo e exaustivo. Frequentemente tivemos que lidar com estudantes desinteressados e acostumados a uma realidade de esforço mínimo e carência de pensamento crítico. É evidente que a emergência da pandemia causada pelo Covid-19 deixou uma lacuna ainda maior no ensino público, pois

mesmo que a implementação da nossa sequência didática tenha sido em regime presencial, muitos estudantes não estavam mais habituados a desenvolver atividades que demandam protagonismo. Contudo, conseguimos encontrar uma classe que se propôs a realizar as atividades. Fomos surpreendidas pelo engajamento de determinados estudantes em cumprir tarefas além das solicitadas, como a criação de matérias jornalísticas, entrevistas e panfletos de divulgação do evento disponibilizados nas redes sociais.

Apesar de todas as dificuldades enfrentadas, ficamos satisfeitas, orgulhosas e com a sensação de que todo trabalho valeu a pena. No final da aplicação, nos deparamos com afirmações de estudantes dizendo que nunca irão esquecer o que é CRISPR/Cas9, pois o trabalho desenvolvido marcou suas trajetórias. Também foi emocionante o carinho demonstrado por eles com a professora-pesquisadora. Para muitos dos discentes, essa relação de ensino-aprendizagem com a professora-pesquisadora se dá desde o 6º ano do Ensino Fundamental. Um dos participantes afirmou não ter desistido e mudado de escola por causa da qualidade do ensino prestado pela professora-pesquisadora.

Os demais professores da escola também teceram comentários positivos sobre o trabalho realizado. Alguns professores revelaram que o assunto despertou seu interesse e que passaram a se questionar sobre suas posições a respeito do tema. Afirmaram que foram tarefas ousadas e que, há muitos anos, mesmo lecionando em diferentes escolas, não haviam visto um trabalho tão bem elaborado e organizado como as atividades desenvolvidas.

Espera-se que no futuro próximo a sequência didática possa ser aplicada na íntegra e com as devidas modificações. Desejamos também que esse trabalho estimule outros professores a desenvolver atividades em sala de aula que promovam a aprendizagem efetiva, o protagonismo e o desenvolvimento do raciocínio crítico dos estudantes.

Esperamos que todos os relatos e os resultados de nossa pesquisa possam inspirar outros professores da Educação Básica a desenvolverem atividades em sala de aula cuja metodologia fomenta o protagonismo estudantil. Reafirmamos mais uma vez que todo o trabalho empenhado vale a pena. Nossas ações fazem diferença na vida dos nossos estudantes.

7. REFERÊNCIAS

- AFP. **Duas geneticistas vencem prêmio Nobel de Química**. Disponível em: <<https://www.otempo.com.br/interessa/duas-geneticistas-vencem-premio-nobel-de-quimica-1.2395625>>. Acesso em: 17 out. 2021.
- ALBUQUERQUE, C. DE; VICENTINI, J. DE O.; PIPITONE, M. A. P. O júri simulado como prática para a educação ambiental crítica. **Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos**, v. 96, n. 242, p. 199–215, abr. 2015.
- ALVES, S. B. F.; CALDEIRA, A. M. DE A. Biologia e ética: um estudo sobre a compreensão e atitudes de alunos do Ensino Médio frente ao tema genoma/DNA. **Rev. Ensaio - Belo Horizonte**, v. 07, n. 01, p. 12–23, jan. 2005.
- AMARAL, C. L. C.; XAVIER, E. DA S.; MACIEL, M. DE L. Abordagem das relações Ciência/Tecnologia/Sociedade nos conteúdos de funções orgânicas em livros didáticos de Química do Ensino Médio. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 14, n. 1, p. 101–114, 2009.
- ANDERY, M. A. et al. Olhar para a história: caminho para a compreensão da ciência hoje. In: **Para compreender a ciência: uma perspectiva histórica**. 4^a ed. Rio de Janeiro: Garamond, 2014. p. 9–15.
- APARECIDA, L.; JUSTINA, D.; FERLA, M. R. a Utilização De Modelos Didáticos No Ensino De Genética - Exemplo De Representação De Compactação Do Dna Eucarioto. **a Utilização De Modelos Didáticos No Ensino De Genética - Exemplo De Representação De Compactação Do Dna Eucarioto**, v. 10, n. 2, p. 35–40, 2013.
- BADZINSKI, C.; HERMEL, E. DO E. S. a Representação Da Genética E Da Evolução Através De Imagens Utilizadas Em Livros Didáticos De Biologia. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)**, v. 17, n. 2, p. 434–454, 2015.
- BARDIN, LAURENCE. **Análise de conteúdo**. Lisboa: Edições 70, 1977.
- BARTH, W. L. Engenharia genética e bioética. **Teocomunicação**, v. 35, n. 149, p. 361–391, 2005.
- BAUER, M. W.; GASKELL, G. **Pesquisa qualitativa com texto, imagem e som: um manual prático**. Petrópolis: Vozes, 2002.
- BAUMANN, M. CRISPR/Cas9 genome editing – new and old ethical issues arising from a revolutionary technology. **NanoEthics**, v. 10, n. 2, p. 139–159, 30 ago. 2016.
- BEIGUELMAN, B. Genética, Ética e Estado: (Genetics, Ethics and State). **Brazilian Journal of Genetics**, v. 20, n. 3, p. 525–530, set. 1997.
- BELMIRO, M. S.; BARROS, M. D. M. DE. Ensino de genética no ensino médio: uma análise estatística das concepções prévias de estudantes pré-universitários. **Revista Práxis**, v. 9, n. 17, p. 95–102, 2017.

BERGEL, S. D. El impacto ético de las nuevas tecnologías de edición genética. **Revista Bioética**, v. 25, n. 3, p. 454–461, dez. 2017.

BERNARDO-ÁLVAREZ, M. Á. La revolución de CRISPR-Cas9: una aproximación a la edición genómica desde la bioética y los derechos humanos. **Revista Iberoamericana de Bioética**, v. 0, n. 3, p. 1, 31 jan. 2017.

BRASIL. **LDB: Lei de diretrizes e bases da educação nacional**. 1ª ed. Brasília: Senado Federal, 1996.

BRASIL. Parâmetros Curriculares Nacionais: Introdução. **Brasília: MEC/SEF**, v. 1, p. 138, 1998.

BRASIL. Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio: Ciências da Natureza. **Brasília: Ministério da Educação**, p. 1–141, 2002.

BRASIL. Base Nacional Comum Curricular - BNCC. **Ministério da Educação**, p. 1–600, 2018.

CABALLERO-HERNANDEZ, D.; RODRÍGUEZ-PADILLA, C.; LOZANO-MUÑIZ, S. Bioethics for Biotechnologists: From Dolly to CRISPR. **Open Agriculture**, v. 2, n. 1, p. 160–165, 1 fev. 2017.

CARLI, G. J. DE; SOUZA, T. A. J. DE; PEREIRA, T. C. A revolucionária técnica de edição genética “CRISPR.” **Genética na Escola**, v. 12, n. 2, p. 114–123, 2017.

CARVALHO, A. M. P. DE. O ensino de Ciências e a proposição de sequências de ensino investigativas. In: CARVALHO, A. M. P. DE (Ed.). **Ensino de Ciências por investigação: Condições para implementação em sala de aula**. 1ª ed. São Paulo: Cengage Learning, 2013. p. 1–20.

CARVALHO, J. C. Q. DE; COUTO, S. G. DO; BOSSOLAN, N. R. S. Algumas concepções de alunos do Ensino Médio a respeito das proteínas. **Ciência & Educação**, v. 18, n. 4, p. 897–912, 2012.

CEZAR, J. M. DE O. **O “anormal” de Foucault e os “corpos que (não) importam” de Butler: um debate**. Anais Eletrônicos do XXV Encontro Estadual de História da ANPUH-SP. **Anais...2020**.

CHAVES, E. J. F.; CAMAROTTI, M. DE F. Análise De Conteúdo De Livros Didáticos De Biologia: Uma Perspectiva Sobre Os Temas Biotecnologia E Engenharia Genética No Ensino Médio. **Revista Eletrônica Debates em Educação Científica e Tecnológica**, v. 5, n. 03, p. 86–112, 2015.

CID, M.; NETO, A. J. Dificuldades de aprendizagem e conhecimento pedagógico do conteúdo: o caso da genética. **Enseñanza de las Ciencias**, v. Extra, p. 1–5, 2005.

CORDEIRO, M. C. R. **Engenharia Genética: conceitos básicos, ferramentas e aplicações** Embrapa Planaltina, DF Embrapa Cerrados, , 2003.

COSTA, L. **Cientistas usam técnica CRISPR para tornar *Aedes aegypti* ‘cego.’** Disponível em: <<https://super.abril.com.br/ciencia/cientistas-usam-tecnica-crispr-para-tornar-aedes-aegypti-cego/>>. Acesso em: 17 out. 2021.

CRIBBS, A. P.; PERERA, S. M. W. Science and bioethics of CRISPR-CAS9 gene editing: An analysis towards separating facts and fiction. **Yale Journal of Biology and Medicine**, v. 90, n. 4, p. 625–634, 2017.

DALAPICOLLA, J. et al. Evolução Biológica Como Eixo Integrador Da Biologia Em Livros Didáticos Do Ensino Médio. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)**, v. 17, n. 1, p. 150–172, 2015.

DE LA TAILLE, Y. **Moral e ética: dimensões intelectuais e afetivas**. Porto Alegre: Artmed, 2007.

DINIZ, D.; GUEDES, C. Confidencialidade, aconselhamento genético e saúde pública: um estudo de caso sobre o traço falciforme. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 21, n. 3, p. 747–755, 2005.

FABRÍCIO, T. M.; et al. **Um olhar CTS sobre a história da ciência nos conteúdos de Genética dos livros didáticos de Biologia aprovados pelo PNLD**. Congresso Iberoamericano de Ciencia, Tecnología, Innovación y Educación. **Anais...**Buenos Aires: Congreso Iberoamericano de Ciencia, Tecnología, Innovación y Educación, 2014. Disponível em: http://www.researchgate.net/profile/Tarcio_Fabricio/publication/268514533_Um_olhar_CTS_sobre_a_histria_da_cincia_nos_contedos_de_Gentica_dos_livros_diticos_de_Biologia_aprovados_pelo_PNLD/links/546e33570cf29806ec2ead47.pdf

FAGUNDES, T. B. Os conceitos de professor pesquisador e professor reflexivo: perspectivas do trabalho docente. **Revista Brasileira de Educação**, v. 21, n. 65, p. 281–298, 2016.

FERREIRA, R. Descomplicando a variabilidade genética: Uma proposta de atividade interativa para o ensino de genética. **Revista Genética na escola**, v. 3, n. 1, p. 1–3, 2008.

FETT-CONTE, A. C. et al. Aconselhamento genético: definindo alguns problemas e soluções. **Arquivos de Ciências da Saúde**, v. 20, n. 1, p. 10–16, 2013.

FIGUEIRA, A. C. M.; ROCHA, J. B. T. Concepções sobre proteínas, açúcares e gorduras: uma investigação com estudantes de Ensino Básico e Superior. **Revista Ciências & Ideias**, v. 7, n. 1, p. 23–34, 2016.

FLICK, U. **Introdução à Metodologia da Pesquisa: um guia para iniciantes**. 1ª ed. Porto Alegre: Penso, 2013.

FONSECA, V. B.; BOBROWSKI, V. L. Biotecnologia na Escola: a inserção do tema nos livros didáticos de Biologia. **Acta Scientiae**, v. 17, n. 2, p. 496–509, 2015.

FRANCO, L. G.; MUNFORD, D. O Ensino de Ciências por Investigação em Construção: Possibilidades de Articulações entre os Domínios Conceitual, Epistêmico e Social do Conhecimento Científico em Sala de Aula. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, p. 687–719, 2020.

FREIRE, P. **Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa**. 71ª ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2021.

G1. **Chinês que diz ter editado genes de bebês desaparece e levanta suspeita de prisão, dizem jornais**. Disponível em: <<https://g1.globo.com/ciencia-e-saude/noticia/2018/12/03/chines-que-diz-ter-editado-genes-de-bebes-desaparece-e-levanta-suspeita-de-prisao-dizem-jornais-do-pais.ghtml>>. Acesso em: 17 out. 2021.

GERHARDT, T. ENGEL; SILVEIRA, D. T. **Métodos de pesquisa**. 1ª ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

GIL PÉREZ, D. Contribución de la historia y de la filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación. **Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas**, v. 11, n. 2, p. 197–212, 1993.

GIL-PÉREZ, D. et al. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência & Educação**, v. 7, n. 2, p. 125–153, 2001.

GLIOCHE, R. **“Explicando” é o curinga da Netflix para aproximar interesses da audiência**. Disponível em: <<https://gente.ig.com.br/cultura/2018-07-30/explicando-serie-netflix.html>>. Acesso em: 18 out. 2021.

GOMES, R. et al. Organização, processamento, análise e interpretação de dados: o desafio da triangulação. In: MINAYO, M. C. DE S.; ASSIS, S. G. DE; SOUZA, E. R. DE (Eds.). **Avaliação por triangulação de métodos: abordagem de programas sociais**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Editora Fiocruz, 2005. p. 185–222.

GOMES, R. Análise e interpretação de dados de pesquisa qualitativa. In: MINAYO, M. C. DE S. (Ed.). **Pesquisa social: teoria, método e criatividade**. 4ª reimpressão ed. Petrópolis, RJ: Vozes, 2016. p. 72–95.

GONÇALVES, G. A. R.; PAIVA, R. DE M. A. Gene therapy: advances, challenges and perspectives. **Einstein (Sao Paulo, Brazil)**, v. 15, n. 3, p. 369–375, 2017.

GUIMARÃES, M. A.; CARVALHO, W. L. P. DE; OLIVEIRA, M. S. Raciocínio moral na tomada de decisões em relação a questões sociocientíficas: o exemplo do melhoramento genético humano. **Ciência & Educação**, v. 16, n. 2, p. 465–477, 2010.

JINEK, M. et al. A Programmable Dual-RNA-Guided DNA Endonuclease in Adaptive Bacterial Immunity. **Science**, v. 337, n. 6096, p. 816–821, 17 ago. 2012.

KLEIN, E. et al. **Explicando - DNA projetado**. EUA. Netflix, 2018.

KRASILCHIK, M. Caminhos do ensino de ciências no Brasil. **Em Aberto**, v. 11, n. 55, p. 3–8, 1992.

KRASILCHIK, M. Reformas e realidade: o caso do ensino das ciências. **São Paulo em Perspectiva**, v. 14, n. 1, p. 85–93, 2000.

KRASILCHIK, M. **Prática de Ensino de Biologia**. 4ª ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2004.

LANDER, E. S. et al. Adopt a moratorium on heritable genome editing. **Nature** 2021 **567**:7747, v. 567, n. 7747, p. 165–168, 13 mar. 2019.

LEMOS, J. L. S. Ciência - Tecnologia - Sociedade - Ambiente (CTSA). **Revista Ciências & Ideias**, v. 4, n. 2, p. 1–2, 2013.

LOUREIRO, M. R. et al. Percepção de estudantes do ensino médio e acadêmicos de uma universidade baiana a respeito da biotecnologia. **Enciclopédia Biosfera**, v. 8, n. 15, p. 2188–2203, 2012.

MARCHIORI, R. et al. **Análise da percepção de Ciência e Tecnologia entre estudantes do Ensino Médio de Dourados-MS**. Encontro de Ensino, Pesquisa e Extensão. **Anais...**2014.

MARTÍNEZ, M. D. L. L. C. et al. Reflexión bioética interdisciplinaria en torno a la edición genética con CRISPR-Cas en línea germinal en el contexto del transhumanismo. **Open Insight**, v. 10, n. 18, p. 185–213, 2019.

MEDEIROS, A. M. R. DE; MELLO, R. DE; GARCIA, L. A. M. **Júri simulado interdisciplinar e a sala de aula: trabalhando o protagonismo e autonomia do educando**. 1ª ed. Ponta Grossa: Atena Editora, 2019.

MEYER, D.; EL-HANI, C. N. **Evolução: o sentido da biologia**. 1ª ed. São Paulo: UNESP, 2005.

MINAS GERAIS. Caderno Pedagógico - Itinerário Formativo - Orientações para o 1º ano Novo Ensino Médio 2022. **Secretaria de Estado de Educação de Minas Gerais**, p. 1–105, 2022.

MOTOKANE, M. T. Sequências Didáticas Investigativas E Argumentação No Ensino De Ecologia. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)**, v. 17, p. 115–138, 2015.

MOTTA, L. C. DE S.; VIDAL, S. V.; SIQUEIRA-BATISTA, R. Bioética: afinal, o que é isto? **Rev Bras Clin Med.**, v. 10, n. 5, p. 431–439, set. 2012.

NASCIMENTO, F. DO; FERNANDES, H. L.; MENDONÇA, V. M. DE. O Ensino de Ciências no Brasil: história, formação de professores e desafios atuais. **Revista HISTEDBR On-line**, n. 39, p. 225–249, 2010.

NASCIMENTO, T. G.; ALVETTI, M. A. S. Temas Científicos Contemporâneos No Ensino De Biologia E Física. **Ciências & Ensino**, v. 1, n. 1, p. 29–39, 2006.

OLIVEIRA, R. J. A Bioética na Educação Escolar: uma discussão importante. **Educação Unisinos**, v. 17, n. 1, p. 1–10, abr. 2013.

OLIVEIRA, T. B. DE; SILVA, C. S. F. DA;; ZANETTI, J. DE C. **Pesquisas em Ensino de Genética (2004-2010)**. VIII ENPEC - Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. **Anais...**Campinas: Associação Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, 2011.

OMS faz primeiras recomendações globais sobre edição do genoma humano | ONU News. Disponível em: <<https://news.un.org/pt/story/2021/07/1756432>>. Acesso em: 23 abr. 2022.

ORLANDO, T. C. et al. Planejamento, montagem e aplicação de modelos didáticos para abordagem de biologia celular e molecular no ensino médio por graduandos de Ciências Biológicas. **Revista brasileira de ensino de bioquímica e biologia molecular**, v. 1, p. 1–17, 2009.

PAIVA, A. L. B.; MARTINS, C. M. D. C. Concepções prévias de alunos de terceiro ano do Ensino Médio a respeito de temas na área de Genética. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)**, v. 7, n. 3, p. 182–201, 2005.

PARDO, I. M. C. G. et al. A escola é um lugar seguro? Prevalência de bullying em uma amostra de estudantes de ensino médio público de Sorocaba. **Revista da Faculdade de Ciências Médicas de Sorocaba**, v. 14, n. 3, p. 100–104, 2012.

PECHLIYE. **Ensino de ciências e biologia: a construção de conhecimentos a partir de sequências didáticas**. São Paulo: Editora Baraúna, 2018.

PEDASTE, M. et al. Phases of inquiry-based learning: Definitions and the inquiry cycle. **Educational Research Review**, v. 14, p. 47–61, 2015.

PEDRANCINI, V. D. et al. Ensino e aprendizagem de Biologia no ensino médio e a apropriação do saber científico e biotecnológico. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 6, p. 299–309, 2007.

PIERCE, B. A. **Genética: um enfoque conceitual**. 5^a ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2016.

PINHEIRO, L. **Nobel de Química 2020 vai para Emmanuelle Charpentier e Jennifer Doudna pelo desenvolvimento do Crispr, método de edição do genoma**. Disponível em: <<https://g1.globo.com/ciencia-e-saude/noticia/2020/10/07/nobel-de-quimica-2020-vai-para-emmanuelle-charpentier-e-jennifer-a-doudna.ghtml>>. Acesso em: 1 jul. 2022.

PINHEIRO, N. A. M.; SILVEIRA, R. M. C. F.; BAZZO, W. A. Ciência, Tecnologia e Sociedade: a relevância do enfoque CTS para o contexto do ensino médio. **Ciência & Educação**, v. 13, n. 1, p. 71–84, 2007.

RAZERA, J. C. C.; NARDI, R. Ética No Ensino De Ciências: Responsabilidades E Compromissos Com a Evolução Moral Da Criança Nas Discussões De Assuntos Controvertidos. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 11, n. 1, p. 53–66, 2006.

REIS, P.; GALVÃO, C. Controvérsias sócio-científicas e prática pedagógica de jovens professores. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 10, n. 2, p. 131–160, 2005.

RENK, V. E. et al. Bioética no Ensino Médio. **Anais Congresso Internacional Ibero-Americano de Bioética**, p. 81–87, 2016.

REZENDE, L. P.; GOMES, S. C. S. Uso de modelos didáticos no ensino de genética: estratégias metodológicas para o aprendizado. **Revista de Educação, Ciências e Matemática**, v. 8, n. 2, p. 107–124, 2018.

ROCHA, M. L. et al. Representatividade da Biologia em CTS por meio de análise por Redes Sociais. **Revista Contexto & Educação**, v. 32, n. 102, p. 81–99, 2017.

SANTOS, J. B. DOS et al. Molécula de DNA e Divulgação Científica: concepções de estudantes de Ensino Médio. **Revista Ciência (In) Cena - Temas Livres**, v. 1, n. 14, p. 50–58, 2021.

SANTOS, W. L. P. DOS; MORTIMER, E. F. Uma análise de pressupostos teóricos da abordagem C-T-S (Ciência - Tecnologia - Sociedade) no contexto da educação brasileira. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 2, n. 2, p. 1–23, 2002.

SASSERON, L. H. Alfabetização Científica, Ensino Por Investigação E Argumentação: Relações Entre Ciências Da Natureza E Escola. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)**, v. 17, p. 49–67, 2015.

SASSERON, L. H.; CARVALHO, A. M. P. DE. Alfabetização Científica: uma revisão bibliográfica. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 16, n. 1, p. 59–77, 2011.

SCARPA, D. L.; CAMPOS, N. F. Potencialidades do ensino de Biologia por Investigação. **Estudos Avancados**, v. 32, n. 94, p. 25–42, 2018.

SCARPA, D. L.; SILVA, M. B. A Biologia e o ensino de Ciências por investigação: dificuldades e possibilidades. In: CARVALHO, A. M. P. (Ed.). **Ensino de Ciências por investigação: Condições para implementação em sala de aula**. 5 reimpr. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2013. p. 129–152.

SGANZERLA, A.; PESSINI, L. Edição de humanos por meio da técnica do Crispr-cas9: entusiasmo científico e inquietações éticas. **Saúde em Debate**, v. 44, n. 125, p. 527–540, jun. 2020.

SILVA, A. A. DA; VIANA, A.; JUSTINA, L. A. DELLA. Concepções de DNA apresentadas por alunos concluintes do Ensino Médio. **Revista Caribeña de Ciencias Sociales**, p. 1–12, 2021.

SILVA, C. C. DA; KALHIL, J. B. A aprendizagem de genética à luz da Teoria Fundamentada: um ensaio preliminar. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 23, n. 1, p. 125–140, 2017.

SILVA, L. F.; CARVALHO, L. M. DE. Professores de Física em formação inicial: o ensino de Física, a abordagem CTS e os Temas Controversos. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 14, n. 1, p. 135–148, 2009.

SILVA, M. B.; GEROLIN, E. C.; TRIVELATO, S. L. F. A Importância da Autonomia dos Estudantes para a Ocorrência de Práticas Epistêmicas no Ensino por Investigação. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 18, n. 3, p. 905–933, 2018.

SILVA, M. I. et al. Os conceitos de gene e DNA por alunos ingressantes na UNIFAL-MG e a efetividade da dramatização como estratégia de ensino de Biologia Molecular. **Revista de Ensino de Bioquímica**, v. 12, n. 2, p. 24–36, 27 out. 2014.

SILVA, P. F. **Percepções Dos Alunos De Ensino Médio Sobre Questões Bioéticas**. IV ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS. **Anais...**Bauru: 2003. Disponível em: <http://abrapecnet.org.br/enpec/iv-enpec/orais/ORAL142.pdf>

SILVA, P. F.; KRASILCHIK, M. Bioética e ensino de ciências: o tratamento de temas controversos - dificuldades apresentadas por futuros professores de ciências e de biologia. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 19, n. 2, p. 379–392, 2013.

SILVEIRA, R. V. M. DA; AMABIS, J. M. Como os estudantes do ensino médio relacionam os conceitos de localização e organização do material genético? **IV Encontro Nacional em Educação e Ensino em Ciências**, p. 1–12, 2003.

SNUSTAD, P.; SIMMONS, M. J. **Fundamentos de genética**. 7ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2017.

SOUSA, A. S. DE; OLIVEIRA, F. C. S. DE; VIEIRA, F. J. Jogos e modelos didáticos, associados à aula expositiva dialogada, no ensino de citologia. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 16, n. 1, p. 195–211, 2021.

SOUZA, T. A. J. DE; PEREIRA, T. C. O impacto na sociedade da tecnologia de edição gênica com base no sistema CRISPR-Cas9. **Genética na Escola**, v. 12, n. 2, p. 124–131, 2017.

STRIEDER, R. B. **Abordagens CTS na educação científica no Brasil: sentidos e perspectivas**. [s.l.] Universidade de São Paulo, 2012.

TEMP, D. S.; BARTHOLOMEI-SANTOS, M. L. Genética e suas aplicações: identificando o conhecimento presente entre concluintes do ensino médio. **Ciência e Natura**, v. 36, n. 2, p. 358–372, 12 set. 2014.

TRIVELATO, S. F.; SILVA, R. L. F. Temas científicos controversos: há lugar para eles no Ensino Fundamental? In: CARVALHO, A. M. P. (Ed.). **Ensino de Ciências**. 3 reimpr. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2011. p. 93–114.

TRÓPIA, G. Percursos históricos de ensinar ciências através de atividades investigativas. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)**, v. 13, n. 1, p. 121–138, 2011. UNESCO. Ensino De Ciências : O Futuro Em Risco. p. 1–5, 2005.

VALÉRIA, N. **Quem é Jennifer Doudna?** Disponível em: <<https://gec.proec.ufabc.edu.br/profissao-cientista/quem-e-jennifer-doudna/>>. Acesso em: 1 jul. 2022.

VALLS, A. L. M. **O que é ética**. [s.l.] Editora Brasiliense, 1994.

VANZELA, A. L. L.; SOUZA, R. F. DE. **Avanços da Biologia Celular e da Genética Molecular**. 1ª ed. São Paulo: Editora UNESP, 2009.

VIANNA, J. A.; SOUZA, S. M. DE; REIS, K. P. DOS. Bullying nas aulas de Educação Física: a percepção dos alunos no Ensino Médio. **Ensaio: avaliação políticas públicas em educação**, v. 23, n. 86, p. 73–93, 2015.

VIEIRA, K. R. C. F.; BAZZO, W. A. Discussões acerca do aquecimento global: uma proposta CTS para abordar esse tema controverso em sala de aula. **Ciência & Ensino**, v. 1, n. especial, p. 1–12, 2007.

VIEIRA, L. T. Q. et al. A bioética e a genética humana. **Revista Bioética Cremego**, v. 2, n. 2, p. 12–15, 2020.

VIGARIO, A. F.; CICILLINI, G. A. Os saberes e a trama do ensino de Biologia Celular no nível médio. **Ciência Educação Bauru**, v. 25, n. 1, p. 57–74, 2019.

VIGNIERI, S. N.; LARSON, J. G.; HOEKSTRA, H. E. THE SELECTIVE ADVANTAGE OF CRYPISIS IN MICE. **Evolution**, v. 64, n. 7, p. 2153–2158, 1 jul. 2010.

VIGOTSKI, L. S. **A construção do pensamento e da linguagem**. 1ª ed. São Paulo: Martins Fontes, 2001.

VILAS-BOAS, A. Conceitos errôneos de Genética em livros didáticos do ensino médio. **Science**, p. 1996–1998, 2005.

VYGOTSKI, L. S. **A formação social da mente**. 4ª ed. São Paulo: Martins Fontes, 1991.

WEST, R. M.; GRONVALL, G. K. CRISPR Cautions: Biosecurity Implications of Gene Editing. **Perspectives in Biology and Medicine**, v. 63, n. 1, p. 73–92, 2020.

ZABALA, A. **A prática educativa: como ensinar**. Porto Alegre: Artmed, 1998.

ZAGALO-CARDOSO, J. A.; ROLIM, L. Aspectos psicossociais da medicina preditiva: revisão da literatura sobre testes de riscos genéticos. **Psicologia, Saúde e Doenças**, v. 6, n. 1, p. 3–34, 2005.

ZAMBERLAN, E. S. J.; SILVA, M. R. DA. O evolucionismo como princípio organizador da Biologia. **Temas & Matizes**, v. 8, n. 15, p. p.27-41, 2009.

ZATZ, M. **Genética: escolhas que nossos avós não faziam**. 1ª ed. São Paulo: Globo, 2011.

ZÔMPERO, A. F.; LABURÚ, C. E. Atividades Investigativas No Ensino De Ciências: Aspectos Históricos E Diferentes Abordagens. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)**, v. 13, n. 3, p. 67–80, 2011.

ZUIN, V. G.; FREITAS, D. DE. A utilização de temas controversos: estudo de caso na formação de licenciandos numa abordagem CTSA Related papers. **Ciência & Ensino**, v. 1, n. 2, 2007.

ANEXOS

ANEXO A – ROTEIRO DO JÚRI SIMULADO ELABORADO PELOS ESTUDANTES

JÚRI SIMULADO

Projeto Mara Letícia E.E.G.V

ABERTURA DA CENA:
INT/EXT. [LOCAÇÃO] – SALA JÚRI[AÇÃO]

*Oficial de Justiça
-A corte esta em sessão. Todos de pe.

JUÍZES ABREM A SESSÃO DIZENDO O TEXTO CONTIDO NESTE ROTEIRO

*Juiz 1

-Declaro aberto os trabalhos da 2ª sessão, da 1ª reunião do Tribunal do Júri da Comarca de Belo Horizonte, ano de 2022.
Podem se sentar

*Juiz 2

-Determino ao Srs. Escrivães, que realize a chamada dos jurados sorteados.

JURADOS ENTRAM A SALA DO JÚRI E SENTAM AS DETERMINADAS CADEIRAS

-Tendo comparecido o número de jurados, declaro instalada a presente sessão.

*Juiz 3

-Será submetido a julgamento os réus: Keithelin, Rafael e Arthur (ler qualificação da denúncia/resumo do caso/crime).
Determino que os policiais presentes no auditório apregoem as partes e as testemunhas, colocado em salas separadas as da acusação, das de defesa.

* Juiz 4

-Vou proceder a chamada dos jurados que deverão compor o conselho de sentença. Devo adverti-los, entretanto, que são impedidos de servir no mesmo conselho: marido e mulher, ascendentes e descendentes, sogro, ou genro, ou nora, cunhados durante o cunhadio, tio e sobrinho, padrasto ou madrasta.
Também não poderão servir os jurados que tiverem parentesco com o/a

Juiz/Juíza Cauã Cruz, Ana Carolina, Ester e IsabellaMuniz. Com o promotor Ketelen, Matheus Rodrigues, Gustavo Miguel, Alexia e Wanderson. Com os advogados(as) Thais, Gustavo Henrique, Luana, Lauan e Camile, com os réus e com avítima(gêmeas).

JUIZ FALA O NOME DE 7 DOS 20 JURADOS QUE COMPOEM O CONSELHO DE SENTENÇA

-(nomes a escolher)

*Juiz

-Está formado o conselho de sentença, farei a exortação legal, e ao final da leitura, cada um dos senhores deverá responder "Assim prometo". Todos de pé.

"Em nome da lei, concito-vos a examinar com imparcialidade esta causa e a proferir vossa decisão de acordo com a vossa consciência e com os ditames da Justiça"

Entregar aos jurados, nesse momento, cópias da decisão de pronúncia e de posteriores decisões que julgaram admissível a acusação, assim como cópia escrita do relatório a respeito do processo. (resumo do caso)

*Juiz

-Podem sentar-se

INTRODUÇÃO: ADVOGADO DE ACUSAÇÃO (PROMOTOR) ACUSA O RÉU OU RÉ(A QUESTÃO EM PAUTA)

*Advogada de acusação

-Bom dia a todos! Gostaria de saudar aos excelentíssimos juizes e saudar também aos colegas de defesa, acusação, advogados, testemunhas e por último os jurados. Estamos aqui para julgar a técnica CRISPR/cas9 para proibi-la no uso da edição genética humana. Com isso fazendo o uso do caso das gêmeas Julia Cardoso e Laura Cardoso em que no dia 26/11/1999 foram modificadas geneticamente, em que a mãe das gêmeas a Sra. Fernanda Cardoso, fez fertilização in vitro para que as gêmeas não adquirissem HIV pois a mesma possuía a doença. E no dia 12/02/18 as gêmeas Julia Cardoso e Laura Cardoso entraram em contato com o vírus do HIV por meio de uma transfusão de sangue após sofrerem um acidente e apenas a gêmea Laura adquiriu a doença e foi a óbito. Contudo venho pedir a proibição da técnica CRISPR por ser falha e não eficaz.

*Juiz 1

-Passo agora a palavra para a defesa

*Advogada de Defesa

-Boa tarde excelentíssimos juizes, colegas de acusação, defesa, advogados, testemunhas e jurados. Venho defender a técnica CRISPR (representado pelos réus). Então quero chamar a primeira testemunha com a permissão dos senhores juizes.

*Juiz 1

-Permissão concedida.

*Advogada de defesa

-Quero chamar ao tribunal a testemunha Letícia Almeida.

O oficial de justiça vai até a testemunha e a conduz a cadeira que estará no centro da sala solicitando que ela faça o seguinte juramento

*Oficial de Justiça

-LEVANTE A MÃO ESQUERDA. JURA DIZER A VERDADE, SOMENTE A VERDADE, NADA MAIS QUE A VERDADE

*Testemunha 1

-EU JURO

*Testemunha 1

-Boa tarde, Meritíssimo.

*Juiz 2

-Qual o seu nome e idade?

*Testemunha 1

-Me chamo Letícia Almeida Silva e tenho 44 anos.

*Juiz 3

-Senhora advogada de Defesa...

*Advogada de defesa

-Qual a sua relação com o caso?

*Testemunha 1

-Sou a enfermeira em que auxiliou o médico Matheus Silva, que está presente no tribunal hoje, na inseminação In Vitro dos embriões, na fecundação da Sra. Fernanda Cardoso.

*Advogada de defesa

-No dia em que foi fecundado os embriões, teria sido a primeira vez em que o médico Matheus Silva estaria realizando tal procedimento erroneamente, procede?

*Testemunha 1

-Sim, pois na época, a técnica era muito recente e o médico não sabia como executá-la como deveria, não modificando todosos embriões corretamente.

*Advogada de defesa

-Sendo assim, o médico Matheus te subornou para que não falasse nada. Procede?

*Testemunha 1

-Correto.

*Testemunha 2 (acusação) Médico

-PROTESTO! Eu nunca faria isso, e nem executei a fecundação erroneamente, é a técnica CRISPR que não funciona.

*Testemunha 1

-Mentira. Você me fez um suborno de R\$100.000 para que eu ficasse de boca calada.

Matheus sai do lugar para continuar a discussão com Letícia.

Juiz (4 juizes)

Os 4 juizes batem o martelo.

-Ordem no tribunal! POLICIAIS!

Policias tiram Letícia e Matheus do tribunal.

*Juíza pergunta para a Advogada de Defesa

-Terminaram de se defender?

*Advogada de defesa

-Sim Sra. Juíza.

*Juíza

-Passarei a fala para o acusador.

* Advogado de acusação

-Senhor juiz, gostaria chamar a testemunha Matheus Silva.

*Juiz

-Pedido concedido.

*Oficial De Justiça

-LEVANTE A MÃO ESQUERDA. JURA DIZER A VERDADE, SOMENTE A VERDADE,
NADA MAIS QUE A VERDADE

*Testemunha 2

-EU JURO

*Advogada de acusação

-Doutor Matheus Silva, peço que me informe sua idade, e qual ao seu vínculo com o caso.

*Testemunha de acusação 2

-Tenho 47 anos. Fui o médico que inseminou os embriões e aplicou a técnica CRISPR na paciente Fernanda Cardoso.

*Advogada de acusação

-Me diga, o que aconteceu exatamente no dia 16 de novembro de 1999?

*Testemunha 2

-No dia 16 de novembro foi marcado para que eu fizesse inseminação com a adição do método CRISPR na Sra. Fernanda Cardoso assim sendo feito. Alguns dias depois, ela voltou ao consultório para fazer os exames que constaria o possível resultado de gestação. E após a ultrassonografia constatou-se que a gravidez era múltipla (que é um risco muito comum) na inseminação in vitro.

*Advogada de acusação

-O senhor fez modificação usando o método CRISPR em todos os embriões. Essa afirmação está certa?

*Testemunha 2

-Sim.

*Juíza

-O senhor tem provas de que fez a modificação em todos os embriões?

*Testemunha 2

-Não.

*Juíza

-A senhorita finalizou o processo de interrogação?

*Advogada de acusação

-Sim, Meritíssima.

*Juíza

-Declaro que abrirei uma futura sessão para o caso do médico. Peço para que a cientista Clara, apresente para nós o laudo.

*Cientista de acusação

-Bom dia a todos, excelentíssimos juizes, colegas de defesa e acusação, advogados, testemunhas e por último os jurados. Ao avaliar o caso, constatamos que a causa da morte foi dada pelas consequências do HIV que foi elevado a uma fase assintomática. Foi constatado no prontuário da vítima que a mesma seria imune ao HIV. Ao fazer a análise na vítima foi apontado que ela não seria imune ao vírus da Aids, levando então a morrer. Como essa modificação genética e recente, amutação por sua vez, ocorre em regiões não codificantes, ou seja, fora do alvo desejado. (ler)

*Juiz

-Peço para que se retire, dra. Debora apresente-se.

*Cientista de Defesa

-Bom dia, meritíssimos juizes, promotores, advogados, jurados, cientistas e aos senhores espectadores aqui presente. Venho aqui fazer a defesa da técnica, constatando que é verdadeira e funcional. A técnica recentemente descoberta apresenta recursos importantes, sendo capaz de curar doenças virais, tais como, gripe, caxumba, poliomielite, doenças cancerígenas e diversas outras.

Cientista de acusação interrompe defesa

-Na verdade a técnica Crisp pode ser utilizada para o tratamento do cancer na sua cura, acredito que para a cura do sangue seja necessário muito o estudo da técnica

*Juiz

-dra. Jessica por favor não interromper novamente. Prossiga

*Cientista de Defesa

-Ja acabei a minha defesa meritissima.

*Advogado de acusação

-Com a permissão do juiz venho a chamar a testemunha Fernanda Cardoso

*Oficial de Justiça

-LEVANTE A MÃO ESQUERDA. JURA DIZER A VERDADE, SOMENTE A VERDADE, NADA MAIS QUE A VERDADE

*Testemunha 3

-EU JURO

*Juiz

-Qual seu nome e idade?

*Testemunha De Acusação 3

-Meu nome e Fernanda Cardoso, tenho 47 anos sou mãe das gêmeas Laura e Julia.

*Advogado de Acusação

-Senhora Cardoso poderia nos contar um pouco de como foi a infância das suas filhas

*Testemunha de acusação 3

-A infância de minhas filhas foi bem tranquila, comparando -se a de outras crianças, porém, Laura sempre apresentou alguns problemas terapêuticos como dores nas articulações, e reclamava bastante de dor na região lombar, até ser diagnosticada com hérnia de disco situada na região lombar.

*Advogado de Acusação

-Obrigado pelo seu testemunho sra. Cardoso.

*Advogado de Acusação

-Gostaria de Chamar agora, a Dra. Maria Clara

*cientista de acusação 2

-Meritíssimos Juizes, caros colegas e jurados, Bom dia. Os efeitos podem ser bastante prejudiciais e podem trazer sequelas, como o caso apresentado em que uma das gêmeas possuía tal problema. Uma das polêmicas com a ferramenta é que o Crispr pode "cortar" a parte errada do genoma, ou fazer mudanças que não eram as pretendidas. Por isso, ela não pode ser usada em embriões humanos que vão ser implantados em tratamentos de reprodução.

*Juiz

-Muito Obrigada. Passo agora a fala para a defesa

*Cientista de defesa 2

- Meritíssimo as vantagens da engenharia crispr traz vantagens pela rapidez oferecida pelos diagnósticos e pelos custos reduzidos em comparação a outras tecnologias.

Sem sombra de dúvida, é mais um importante recurso para a cura de diversas doenças, mas que ainda em caminha em seus primeiros passos em pacientes humanos. E o objetivo do Crispr é desenvolvido a partir de mecanismos moleculares no sistema imunológico bacteriano, o sistema crispr possibilita a edição do genoma através de clivagens do DNA por uma endonuclease (CAS9), criada a partir de uma sequência de RNA, que é capaz de se parear com as bases de uma sequência-alvo.

*Juiz

-Passo para a acusação

*Advogado de Acusação

-Meritíssimo, eu gostaria de chamar a testemunha de Rodrigo Mars

*Testemunha de defesa

-Bom Dia Meritíssimos juizes, meu nome e Rodrigo Mars e tenho 62 anos.

*Acusação

-Qual sua relação com a técnica.

*Testemunha de defesa

-antes de tudo, eu gostaria de dizer que se não fosse a técnica crispr eu nem sequer estaria aqui. Eu tinha uma doença chamada amaurose congênita de Leber. é uma doença degenerativa hereditária rara que leva a disfunção da retina numa idade precoce, geralmente desde o nascimento e isso impedia que eu enxergasse. Fiz uma cirurgia a 8 anos, e ela durou cerca de uma hora. Tive que esperar um mês até que os medicos descubrissem se o procedimento estaria funcionando e pelo menos dois meses para entender se ele foi capaz de restaurar a visão, ca estou enchergando.

*Advogado de Acusação

-muito obrigada, chamo agora o dr. Guilherme Alencar para falar um pouco.

*Cientista de Acusação

-bom dia senhores juizes. Essa não é a primeira vez que as técnicas de edição genética são testadas sobe certas condições, sem coletar e corrigir as células em laboratório antes de reintroduzi-las em seus corpos. Há alguns anos, especialistas utilizaram um método chamado NDZ para tentar tratar um problema metabólico raro e bastante grave conhecido como Síndrome de Hunter, mas obtiveram pouco sucesso no alívio dos sintomas da doença. Podemos dizer que depois de varias tentativas a tecnica ainda e falil, consegui alguns documentos da clinica onde foi feito o procedimento, e descobri que mesmo com a prova do sr. Mars, ele e alguns outros pacientes ainda nao tem a visao completamente recuperada e a cada tempo que passa os genes da doença estao voltando e retirando pouco a pouco a sua visao.

Cientista entrega uma copia(folha) do documento para os juizes analisarem.

-sendo assim. Termino minha pesquisa.

*Advogada de Defesa

-Senhores Meritíssimos juizes, bom dia. Gostaria de Chamar a testemunha de acusação e pai da vítima, Igor Vinícius Cardoso.

*Testemunha de Acusação

-Bom dia, Meritíssimos juizes, promotores, advogados, testemunhas, jurados, cientistas e aos senhores espectadores aqui presente. Venho aqui dizer como pai, que a dor que sinto e incomparável. E peço não Só em meu nome, mas também no nome de minha esposa, minha filha e aos meus familiares que seja feito o certo. Não desejo a alguém esse

sentimento de perda, a única coisa que peço a vocês, é que seja feita justiça e nada mais.

*Advogado de defesa

-Muito obrigada, senhor Igor.

*Advogada de Defesa

-Bom Dia vossas excelências, agora gostaria de chamar a testemunha de defesa, Ana Clara Cândida. Ela é melhor amiga das garotas, estudou a vida inteira com ambas

*Testemunha de defesa

-Bom dia, senhores meritíssimos juizes, sou amiga das gêmeas, estou muito triste pela morte da Laura, porém feliz pela vida da Júlia, graças ao Crispr, ela não se contaminou, então achoque por ser uma técnica, mesmo assim ainda tem muito potencial.

*Advogada de Defesa

- Muito obrigada senhorita Ana. Agora gostaria de chamar a testemunha de defesa, Leonardo; ele nos dirá as vantagens que a técnica teve em sua vida

*Testemunha de defesa

Bom dia senhores Meritíssimos juizes. Em 2020 graças a pandemia, minhas vendas caíram muitas. Teve uma seca enorme em abril do mesmo ano, por causa das queimadas, conseqüentemente, minha plantação de cana de açúcar foi completamente destruída, com isso, perdi muito dinheiro. Mas, a técnica veio para ajudar, juntei um bom dinheiro, e consegui investir no Crispr, onde eles editaram os genes da cana de açúcar, as primeiras canas editadas transgene-free do mundo, ou seja, sem a inserção de DNA externos, que permitiu o silenciamento de genes da planta sem a incorporação de nenhuma sequência gênica advinda de outros organismos. Com isso, melhoramos muito a planta, sendo assim, ela produziu ainda mais açúcar, minhas vendas alimentícias aumentaram, e hoje consigo vender até para indústrias de gasolina. O Crispr me ajudou muito, é uma técnica incrível.

*Advogado de defesa

Muito obrigada Leonardo pelo seu relato. Agora, senhores juizes, se me permitirem, gostaria de continuar chamando minhas testemunhas de defesa.

*Juiz:

-Pedido concedido

*Advogado de defesa

-Vinícius, pode se sentar

Testemunha de Defesa

-Bom dia meritíssimo. Como testemunha, venho em defesa da técnica Cas9, porque ela mudou minha vida e a do meu gato. Sempre quis adotar um gatinho, pois me sentia muito sozinho. Adotei dois gatos, e um deles era hiper alérgico, meu gato sofria muito, e com a técnica, modificaram o gene dele e hoje me dá ele foi

curado da doença, hoje não sofro mais com suas crises alérgicas.

*Advogado de defesa
-isso e tudo meritíssimo

*Juíza
- já temos tudo que precisamos. Precisamos de uma pausa, vamos para um breve intervalo, e continuaremos com o júri dando as considerações finais

Intervalo - 10 minutos

ABERTURA DA CENA:
INT/EXT. [LOCAÇÃO] - SALA JÚRI [AÇÃO]

*Juiz
-então promotores, advogados e cientistas deem suas considerações finais começando pela acusação

*Advogada de Acusação
-a edição genética CRISPR/Cas9 pode causar nas células danos genéticos muito maiores do que se pensava.

*Cientista de acusação
-Os resultados revelam questões de segurança para as terapias genéticas usando a técnica que várias equipes ao redor do mundo estão desenvolvendo, uma vez que os danos inesperados podem levar a mudanças perigosas em algumas células.

*Juiz
-Passo a palavra então para os advogados e cientistas de defesa

*Cientista de defesa
-A técnica pode prevenir doenças, ajudar grandes empresários em suas lavouras com a edição genética de alimentos, e mesmo que esteja em fase de desenvolvimento, é eficaz.

*Advogados de defesa
-Com isso, acredito que a técnica deve ser aprovada.

*Juiz
-Ok. O júri, ira votar, e nos passar sua resposta

- Juri passa a resposta -

*Juiz
-De acordo com a votação, o Crispr será proibido/aprovado para ser usado aqui no Brasil. Deixo como encerrado essa audiência.

**ANEXO B – REPORTAGEM PRODUZIDA PELOS ESTUDANTES CONVIDANDO A
COMUNIDADE ESCOLAR A ASSISTIR O JÚRI SIMULADO**



Técnica Crispr vai ser aprovada ou não?

**TRIBUNAL DE JUSTIÇA
BRASILEIRO DECIDE HOJE (18/04)
A APROVAÇÃO OU NÃO DO USO
DA TÉCNICA CRISPR/CAS9 NA
EDIÇÃO GENÉTICA.**

**O EVENTO OCORRERÁ AS 8:00
DA MANHÃ.**

**ESSE JÚRI FOI ABERTO APÓS
SAIR NA IMPRENSA BOATOS
SOBRE A TÉCNICA SER FALHA E
PERIGOSA.**

**SEGUNDO NOTÍCIAS, JÚLIA
CARDOSO E LAURA (IRMÃS
GÊMEAS) TIVERAM SEU DNA
EDITADO POR MEIO DA TÉCNICA
CRISPR PARA DEIXÁ-LAS
IMUNES AO HIV, NO DIA
16/11/1999. A MÃE DAS GAROTAS
TEM HIV E NÃO QUERIA QUE
SUAS FILHAS TIVESSEM A
DOENÇA. COM ISSO, ELA
MODIFICOU OS GENES DELAS
DURANTE A SELEÇÃO DOS
EMBRIÕES PARA A
FERTILIZAÇÃO**

**MAS, NO DIA 12/02/18 AS GÊMEAS
JULIA CARDOSO E LAURA
CARDOSO ENTRARAM EM
CONTATO COM O VIRUS HIV POR
MEIO DE UMA TRANSFUÇÃO DE
SANGUE APÓS SOFREREM UM
ACIDENTE . APENAS A GÊMEA
LAURA ADQUIRIU A DOENÇA E
DEPOIS DE DOIS ANOS FOI A
OBITO.**

**COM TUDO ISSO, A JUSTIÇA
FEDERATIVA BRASILEIRA,
RESOLVEU ABRIR UM JÚRI PARA
DECIDIR SE SERÁ APROVADO OU
NÃO O USO DA TÉCNICA NO
BRASIL.**

**A MÃE E A IRMÃ DA LAURA
DISSERAM EM ENTREVISTA COM
NOSSO JORNAL QUE, ATÉ HOJE
ESTÃO COMPLETAMENTE
ABALADAS COM A MORTE DA
GAROTA, E FARÃO O QUE FOR
PRECISO PARA QUE A TÉCNICA
NÃO SEJA APROVADA PARA SER
USADA NO PAÍS.**

**E VOCÊ? QUAL SUA OPINIÃO
SOBRE ISSO TUDO? MANDEM
PARA O JORNAL NO NOSSO
TWITTER, QUEM SABE ELE NÃO
APARECE NA PRÓXIMA EDIÇÃO.**

REPORTAGEM: TURMAS DO 1 EM



APÊNDICES

APÊNDICE A – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

(responsável por estudantes)

A pesquisadora Profa. Dra. Adlane Vilas-Boas e os professores-pesquisadores Mara Leticia Carvalho de Souza Martins e Matheus Wilhen de Oliveira Glicério vem solicitar sua autorização para participação voluntária do jovem sob sua responsabilidade na pesquisa denominada: Ensino de Genética, conceitos e aprendizagem.

Pesquisadora responsável: Prof^ª Dr^ª Adlane Vilas-Boas e-mail: adlane@ufmg.br/fone: 34092980/(31)996511464.

Mestrandos: Mara Leticia C. de Souza Martins e-mail: maraleticia_14@hotmail.com e Matheus Wilhen de O. Glicério, e-mail: matheuswilhen@yahoo.com.br.

1. Esta seção fornece informações acerca do estudo em que a criança/jovem sob sua responsabilidade estará envolvido(a):

Você está sendo consultado sobre a autorização do jovem sob sua responsabilidade para participar de uma pesquisa que visa a entender a formação de conceitos de genética no ensino formal e não-formal de Genética e o relacionamento com erros conceituais que dificultam o entendimento de processos básicos nesta disciplina. Os estudos se dão na própria escola do estudante. Pretende-se com isso trazer informações pertinentes ao desenvolvimento de metodologias didáticas para o aperfeiçoamento do ensino na área que repercutirão na aprendizagem destes e outros jovens.

Para este projeto os pesquisadores estão fazendo uma revisão bibliográfica, analisando trabalhos teóricos já existentes. A partir dessas pesquisas, novas metodologias podem ser elaboradas e avaliadas junto aos alunos. Em alguns casos o áudio e/ou vídeo da atividade poderá ser gravado para que não se perca detalhes do processo.

Explicaremos aos estudantes do que se trata a pesquisa e pediremos a todos que assinem, por livre e espontânea vontade, o Termo de Consentimento. Àqueles que tiverem idade inferior a 18 anos, entregaremos também o Termo de Assentimento (que é o termo que o jovem poderá ou não concordar com a pesquisa).

Em caso de dúvidas você pode entrar em contato com a pesquisadora responsável através do telefone e endereços eletrônicos fornecidos nesse termo. Informações adicionais referentes aos aspectos éticos deste estudo podem ser obtidas no Comitê de Ética em Pesquisa

(COEP) da Universidade Federal de Minas Gerais pelo telefone (31) 3409-4592 ou pelo endereço: Avenida Antônio Carlos, 6627- Unidade Administrativa II – 2º andar, sala 2005 – Campus Pampulha, Belo Horizonte, MG – Cep: 31270901.

Para a garantia das normas do Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG, informamos que os dados coletados serão confidenciais e utilizados unicamente para fins dessa pesquisa, podendo ser divulgadas em congressos, simpósios, seminários, revistas, livros e na dissertação de Mestrado dos pesquisadores.

A identidade dos participantes ficará preservada por meio do uso de nomes fictícios. O material coletado será arquivado sob a guarda da pesquisadora Dra. Adlane Vilas Boas no Instituto de Ciências Biológicas da UFMG por um tempo de até 05 (cinco) anos e posteriormente será destruído fisicamente e/ou digitalmente.

2. Essa seção descreve os direitos dos participantes desta pesquisa:

- A. Você e o jovem sob sua responsabilidade poderão fazer perguntas sobre a pesquisa a qualquer momento e tais questões serão respondidas.
- B. A participação do jovem é confidencial. Apenas os pesquisadores responsáveis terão acesso à sua identidade. No caso de haver publicações ou apresentações relacionadas à pesquisa, nenhuma informação que permita a sua identificação será revelada.
- C. A participação do jovem sob sua responsabilidade é voluntária sem remuneração ou cobrança por ela. Ele será livre para deixar de participar da pesquisa a qualquer momento, bem como para se recusar a responder qualquer questão específica sem qualquer punição.
- D. Este estudo poderá envolver a gravação de áudio e/ou vídeo. Apenas os pesquisadores terão acesso a esses registros. Não haverá publicação do áudio do jovem sob sua responsabilidade. Todos os registros, sem exceção, serão destruídos após o período de 5 anos.
- E. Este estudo envolve riscos mínimos, e alguns podem ser cansaço, desconforto com relação à atividade, constrangimento em responder as perguntas, mas faremos o possível para que toda a atividade seja o menos desgastante possível. Se houver, em algum momento da atividade, alguma questão em que o jovem sob sua responsabilidade não se sinta confortável para participar, ele(a) poderá informar aos pesquisadores para que ele não participe deste passo do estudo.
- F. Desde já, agradecemos a sua colaboração e nos colocamos à disposição para quaisquer outros esclarecimentos. Caso você concorde que o jovem sob sua responsabilidade participe da pesquisa, pedimos que preencha o termo abaixo e assine esse documento.

_____	_____	_____
Adlane Vilas-Boas	Matheus W. de O. Glicério	Mara L. C. de S. Martins
Pesquisadora orientadora	Pesquisador responsável	Pesquisador responsável

Eu, _____, RG _____, responsável pela/o jovem _____ declaro que fui consultado (a) pelos responsáveis pelo projeto de pesquisa, Professora Dra. Adlane Vilas-Boas, Mara L. C. de S. Martins e/ou Matheus W. de O. Glicério e respondo positivamente à sua demanda de realizar a coleta de dados, conforme explicado acima. Terei liberdade para desautorizar a participação no projeto do/a jovem sob minha responsabilidade a qualquer momento, sem qualquer prejuízo as partes. Entendi as informações fornecidas pelos pesquisadores, sinto-me esclarecido(a) para participar da pesquisa e registro meu consentimento livre e esclarecido.

_____, _____ de _____ de 2022.

Assinatura do (a) responsável

Em caso de dúvidas quanto aos seus direitos e à ética na pesquisa entre em contato com: CEP - Comitê de Ética em Pesquisa – Universidade Federal de Minas Gerais - Av. Antônio Carlos, 6627 - Unidade Administrativa II - 2º andar, sala 2005 - Campus Pampulha - Belo Horizonte, MG – telefãx: (031) 3409-4592, e-mail: coep@prpq.ufmg.br, site: <https://www.ufmg.br/bioetica/coep>

APÊNDICE B – TERMO DE ASSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TALE)**TERMO DE ASSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO DO MENOR –
(ESTUDANTES)**

Prezado estudante, você está sendo convidado a participar de uma pesquisa de mestrado que será feita pelos professores Matheus W. de O. Glicério, Mara L. C. de S. Martins e Dra. Adlane Vilas-Boas. A pesquisa se chama “Ensino de Genética, conceitos e aprendizagem”.

Com essa pesquisa eles querem entender a formação de conceitos de genética no ensino, assim como erros conceituais que dificultam o entendimento de processos básicos no ensino desta área da Biologia. Pretende-se com isso aperfeiçoar métodos para uma melhor aprendizagem da Biologia no Ensino Médio.

Este estudo envolve riscos mínimos, ou seja, pode haver riscos de cansaço, desconforto com relação à atividade, constrangimento em responder as perguntas, mas faremos o possível para que toda a atividade seja o mais tranquila possível e a qualquer momento você poderá pedir aos pesquisadores para mudar de tópico ou não responder as perguntas e nem participar das atividades propostas. Acreditamos que você irá gostar da atividade e poderá contar para o/a professor/a sua experiência.

Não daremos as informações que você nos der a estranhos. Apenas os pesquisadores terão acesso aos dados da atividade. Os resultados da pesquisa vão ser publicados, mas sem identificar os nomes dos estudantes que participaram. Quando terminarem as pesquisas os professores Matheus W. de O. Glicério e Mara L. C. de S. Martins falarão o que se descobriu para professores e colegas da Universidade Federal de Minas Gerais e para quem quiser ler sobre a pesquisa na dissertação e artigos. Se você tiver alguma dúvida, você pode perguntar a seu/sua professor (a) ou a professora Adlane que os orienta no trabalho de mestrado. Todos os registros, sem exceção, serão destruídos após o período de 5 anos. Os contatos de todos os pesquisadores estão na parte de baixo deste texto e você pode nos procurar se tiver dúvidas sobre a pesquisa.

Este estudo poderá envolver a gravação de áudio e vídeo. Esses materiais não serão divulgados e serão utilizados apenas para análise dos pesquisadores. Caso você não se sinta confortável em ser gravado poderá pedir aos pesquisadores que não o faça e sua vontade será respeitada.

Atenciosamente,

Adlane Vilas-Boas Ferreira	Matheus Wilhen de O. Glicério	Mara Letícia C. de S. Martins
Pesquisadora orientadora	Pesquisador responsável	Pesquisador responsável
Tel: (31) 3409-2980	e-mail: matheuswilhen@gmail.br	e-mail: maraleticia_14@hotmail.com

Eu, _____, declaro que fui consultado(a) pelos responsáveis pelo projeto de pesquisa “Ensino de Genética, conceitos e aprendizagem” para participar da pesquisa. Entendi as coisas ruins e boas que podem acontecer. Entendi que posso dizer “sim” e participar, mas que, a qualquer momento, posso dizer “não” e desistir e que não haverá problemas para mim. Os pesquisadores tiraram minhas dúvidas e conversaram com os meus responsáveis.

Li e () concordo () não concordo em participar da pesquisa e assino em 2 vias.

_____, _____ de _____ de 2022.

Assinatura do(a) estudante participante

Em caso de dúvidas quanto aos seus direitos e à ética na pesquisa entre em contato com: COEP - Comitê de Ética em Pesquisa – Universidade Federal de Minas Gerais - Av. Antônio Carlos, 6627 - Unidade Administrativa II - 2º andar, sala 2005 - Campus Pampulha - Belo Horizonte, MG – telefax: (031) 3409-4592, e-mail: coep@prpq.ufmg.br, site:

<https://www.ufmg.br/bioetica/coep>

APÊNDICE C – QUESTIONÁRIO

1. Na maioria dos seres vivos, a fonte da informação genética hereditária é:
 - a) Célula
 - b) RNA
 - c) DNA
 - d) Proteína
2. A unidade fundamental da hereditariedade é:
 - a) Cromossomo
 - b) DNA
 - c) Gene
 - d) Célula
3. As múltiplas formas que um gene se apresenta é chamada de:
 - a) Cromossomos
 - b) Cromátides
 - c) DNA
 - d) Alelos
4. Adenina, citosina e guanina são bases nitrogenadas encontradas tanto no DNA quanto no RNA. Qual a quarta base nitrogenada encontrada no DNA?
 - a) Uracila.
 - b) Timina.
 - c) Fosfato.
 - d) Desoxirribose.
5. A determinação do tipo sanguíneo (A, B, AB ou O), em humanos, é determinada quase sempre por um par de alelos. As informações hereditárias para esta característica estão contidas:
 - a) Apenas nas células sanguíneas.
 - b) Apenas nos gametas.
 - c) Em todas as células do organismo.
 - d) Apenas nas células nucleadas do organismo.
6. O DNA dentro das células é encontrado associado a proteínas, consistindo em:
 - a) Cromossomos.
 - b) Genes.
 - c) Núcleo celular.
 - d) Alelos.

7. As mutações são alterações permanentes nas informações genéticas que podem ser transmitidas de célula para célula ou do pai para os seus descendentes.
- Verdadeiro.
- Falso.
8. O material genético que você recebe é o mesmo que você transmite aos seus descendentes.
- Verdadeiro.
- Falso.
9. As informações genéticas são transferidas do DNA para o RNA e deste para as proteínas.
- Verdadeiro.
- Falso.
10. Os genes (genótipo) são herdados e, junto com os fatores ambientais, determinam a expressão das características (fenótipo).
- Verdadeiro.
- Falso.
11. (Adaptado de Silveira e Amabis, 2003) Preencha a tabela a seguir marcando com um (X) caso as células apresentem os itens indicados.

Células	Cromossomos	Genes	DNA
Glóbulos vermelhos (hemácias)	()	()	()
Células nervosas (neurônios)	()	()	()
Células da pele (epiteliais)	()	()	()
Gametas (espermatozoides ou óvulos)	()	()	()

APÊNDICE D – ESTUDOS DE CASO

1. Miguel, um garoto de 8 anos mora no interior de Minas Gerais com os seus pais e outros dois irmãos, foi diagnosticado aos seis meses de idade com uma doença rara conhecida como Amaurose Congênita de Leber (ACL). Se trata de uma doença hereditária degenerativa que leva à cegueira.

Existe um tratamento, ainda experimental, que pode ajudar Miguel a enxergar. Neste tratamento é possível alterar a sequência de bases nitrogenadas que formam os genes “defeituosos” de Miguel e que lhe causa cegueira. Contudo, sabemos que existem pelo menos 24 genes causadores da ACL e que um gene pode decodificar ou interferir em mais de uma característica no indivíduo. Nos casos a seguir, analise como seria sua atuação.

a) Se fosse um dos pais dessa criança, você aceitaria participar deste tratamento experimental? Explique.

b) Se fosse um dos cientistas desse caso, você faria o procedimento em Miguel? Como faria? Qual seria a sua atitude? Explique.

2. Ana e João são um jovem casal que está planejando ter filhos em breve e decidiram procurar aconselhamento genético para ter filhos perfeitos. O casal selecionou algumas características que gostariam de ter no seu futuro bebê. Sabendo da existência da técnica de edição de genes citada no caso anterior, eles pretendem consultar um(a) geneticista. Entre as características estão:

- Ausência de calvície precoce. João é calvo desde os 23 anos e isso sempre o incomodou. Ele não deseja que esses genes sejam transmitidos ao seu futuro filho(a).
- Estatura mediana. O casal sabe que, infelizmente na sociedade que vivemos, pessoas mais baixinhas ou muito altas são constantemente vítimas de risadas em escolas e até no ambiente de trabalho.
- Ausência de mutação no gene BRCA1 ou BRCA2. Ana tem histórico familiar de câncer de mama e quer garantir que o seu bebê nunca venha passar por isso. Esses genes são responsáveis por 5% a 10% das ocorrências de câncer de mama e de ovário no mundo. Contudo, sabe-se que 90% a 95% dos casos de câncer de mama não estão associados a mutações nesses dois genes.

- Melhor desempenho atlético. Ana e João são ciclistas desde a adolescência e foi assim, no esporte, que se conheceram. O casal sabe da importância da prática de atividade física regularmente e querem que o(a) futuro(a) filho(a) tenha a mesma aptidão pelos esportes ou até maior que eles.

Se você fosse o geneticista responsável pelo atendimento desse casal, o que você faria? Você acha correto que esse tipo de terapia gênica seja usado para tal finalidade? Qual seria a sua atitude? Explique.

3. (Adaptado de Pierce, 2016) Suponha que você seja submetido a um teste genético aos 18 anos quanto à suscetibilidade de uma doença genética, como a Esclerose lateral amiotrófica (ELA), uma doença neurodegenerativa progressiva que se inicia na idade adulta. É causada pela morte dos neurônios motores localizados no córtex cerebral, no tronco encefálico e na medula espinal. O início e o tempo de progressão variam, mas ocorre a perda de força dos membros superiores e/ou inferiores, o comprometimento da fala e da deglutição, bem como da função respiratória. Para essa doença existe tratamento para reduzir o desconforto, mas não há cura. Você tem um primo distante que foi diagnosticado com essa doença. Entretanto, cerca de 90% dos casos são esporádicos, ou seja, não se observa recorrência familiar da doença. Os 10% restantes podem apresentar padrão de herança autossômica dominante ou recessiva.
 - a) Quais seriam os possíveis motivos para fazer esse teste e quais seriam os possíveis motivos para não o fazer?
 - b) Você gostaria de fazer este teste? Explique seu motivo.
 - c) Agora suponha que você seja o geneticista. Você faria o teste genético nesse paciente? Daria o diagnóstico a seu paciente? Explique seu motivo.
 - d) Pense a respeito: saber dos riscos vai ajudar ou simplesmente angustiar a pessoa? Escreva o seu ponto de vista.
4. (Adaptado de Pierce, 2016) Camila, uma mulher de 25 anos, foi submetida ao teste genético e descobriu que tem um grande risco de desenvolver Doença de Huntington. A Doença de Huntington, também conhecida como Coreia de Huntington, é uma doença neurodegenerativa que afeta o sistema nervoso central, em geral de início tardio. É causada por uma mutação em um gene que codifica a proteína huntingtina. Caracteriza-se por movimentos involuntários, perda progressiva da força muscular e demência. A herança é autossômica dominante e,

portanto, os afetados têm um risco de 50% de transmitir o gene defeituoso para sua descendência. Sabendo que suas filhas, Joana (7 anos) e Elizabete (5 anos), têm 50% dos seus genes, elas também correm maior risco para estas doenças.

Sendo assim, responda:

- a) Camila tem a obrigação moral ou legal de contar às suas filhas e a outros parentes próximos sobre os resultados do seu teste genético?
- b) O que você faria se estivesse na situação dos geneticistas responsáveis pelo teste genético? Contaria aos parentes próximos de Camila?
- c) Você acha que seria ético testar as filhas de Camila, que ainda são crianças, para a Doença de Huntington que só se manifesta em adultos? Explique seu motivo.

APÊNDICE E – ORIENTAÇÕES PARA A REALIZAÇÃO DO JÚRI SIMULADO

Objetivos:

- Debater o tema, levando os participantes a tomar um posicionamento através da argumentação.
- Exercitar a expressão oral e o raciocínio lógico-argumentativo.
- Amadurecer o senso crítico.
- Decidir se a técnica CRISPR pode ou não ser usada para editar genes humanos.

Participantes

- **Juiz (4):** um juiz por sala. Dirige e coordena as intervenções e o andamento do júri. Juiz é a autoridade máxima do Tribunal, mas não é responsável pela decisão dos jurados em condenar ou absolver o réu. Conduz os trâmites do julgamento, e define a pena quando há uma condenação.
- **Réu:** o acusado, cujo ato específico é o objeto de discussão do júri. Em um júri existe também a possibilidade de não existir réu. Assim, trata-se da acusação ou da defesa de um assunto específico. *No máximo 1 por sala (a se pensar).*
- **Jurados (20):** alunos, professores, funcionários da escola e pais/responsáveis. Ouvirão todo o processo e no final das exposições, declaram se o réu é ou não culpado.
 - **Conselho de sentença:** Dos 20 jurados intimados, só 07 (sete) compõem o Conselho de Sentença e realmente julgam. São escolhidos por sorteio e podem ser recusados por uma das partes. São permitidas até três recusas sem explicações, e, em seguida, novos nomes são sorteados. Ao final do júri.
 - **Sala secreta:** Para cada quesito a ser votado, os jurados recebem uma cédula com a palavra "sim" e outra com a palavra "não". As decisões são tomadas por maioria simples e a votação é sigilosa, ou seja, os jurados não podem conversar sobre suas impressões do caso. Se um julgamento demorar dois dias ou mais, os jurados ficam em alojamentos e são acompanhados por oficiais de justiça.
- **Promotores (advogados de acusação) (04):** um por sala. Também chamados de advogados de acusação, buscam condenar o réu, por meio de argumentos

coerentes, provas e apresentação de testemunhas. Devem acusar o “réu” (ou assunto), a fim de condená-lo.

- **Testemunhas:** fornecem argumentos que podem reforçar a suposta inocência do acusado, ou sua responsabilidade no caso em questão. Defesa e acusação convocam até cinco testemunhas cada. O juiz também pode solicitar a presença de uma testemunha. As testemunhas podem ou não ter visto o crime acontecer.
 - **Testemunha de defesa:** até 05 participantes.
 - **Testemunha de acusação:** até 05 participantes.
- **Advogados de defesa (04):** um por sala. Como o nome sugere, eles defendem o acusado (réu), com base em argumentos coerentes, provas e apresentação de testemunhas.
- **Escrivão/escrivã (04):** um por sala. Responsável pela escrita de tudo que é falado durante o júri.
- **Cientistas:** profissionais técnicos específicos que irão explicar, por meio de argumentos científicos, a técnica CRISPR reforçando ou não os seus potenciais de aplicação.
 - **Cientistas de defesa:** até 04 participantes.
 - **Cientistas de acusação:** até 04 participantes.
- **Oficial de Justiça (04):** um por sala. Responsável por conduzir a entrada do juiz ou juíza no tribunal. Chama todas as pessoas que irão depor. Conduz o juramento que elas farão.
- **Policiais (06):** até seis participantes. Responsáveis por manter a ordem e a segurança do júri. Conduz o réu/ré à penitenciária, caso essa seja condenado(a).

Bastidores – Equipe técnica

Operações realizadas fora dos personagens do júri

- **Cenógrafos:** Também chamado cenarista, é aquele que cria o projeto cenográfico e monta o espaço cênico de modo realista ou conforme idealizado pelo dramaturgo.
- **Diretor:** Representantes de sala. Coordenador geral de todos os aspectos envolvidos com o espetáculo, aprova a escolha do elenco, o cenário, o figurino, iluminação etc.

- **Dramaturgo/Roteirista (16):** quatro por sala. É o literato que escreve a peça teatral. Autor de um texto dramático, que é a literatura destinada ao teatro.
- **Figurista (08):** dois por sala. É aquele que cria, orienta e acompanha a feitura dos trajes para um espetáculo teatral.
- **Apoio de set (08):** dois por sala. Ajuda em pequenas coisas.
- **Fotografia/Cinegrafia (04):** um por sala. O trabalho da fotografia/cinegrafia começa na pré-produção, lendo o roteiro, conversando com o diretor, pesquisando referências, escolhendo a equipe e o equipamento. No set, o profissional escolhe qual vai ser a composição da iluminação, os movimentos de câmera e o enquadramento. A fotografia/cinegrafia no cinema reforça aspectos da narrativa e guia o olhar do telespectador.
- **Assessor de imprensa/Jornalista (04):** um por sala. Responsável pela divulgação da peça, relações públicas, organiza entrevistas com o elenco, diretor no set de filmagem e fora dele.
- **Equipe de som (02):** se houver vídeo ao áudio a ser exibido.
- **Plateia:** assiste ao júri em completo silêncio, anotado e formulado o texto que será cobrado pela professora contendo a opinião de cada um dos participantes acerca do resultado do júri.

Etapas do Júri

1º Momento

1. Juiz abre a sessão lendo o texto contido neste roteiro. (05 minutos)
2. Introdução: Advogado de acusação (promotor) acusa o réu ou ré (a questão em pauta). (05 minutos)
3. Introdução: Advogado de defesa defende o réu ou a ré. (05 minutos).
4. Juiz/Juíza solicita à Promotoria (acusação) que chamem as testemunhas para darem os depoimentos.
5. Advogado de acusação toma a palavra e continua a acusação. (chama as testemunhas de acusação) (20 minutos para ouvir todas as testemunhas).
6. O oficial de justiça vai até a testemunha e a conduz a cadeira que estará no centro da sala solicitando que ela faça o seguinte juramento:

“LEVANTE A MÃO DIREITA. JURA DIZER A VERDADE, SOMENTE A VERDADE, NADA MAIS QUE A VERDADE?”

7. RESPOSTA DA TESTEMUNHA: “EU JURO!”
8. Advogado de defesa, retoma a defesa. (chama as testemunhas de defesa) (20 minutos para ouvir todas as testemunhas).
9. Advogados de defesa e de acusação podem chamar as testemunhas de seus oponentes para serem ouvidas: o promotor/acusação chama as de defesa; advogado de defesa chama as do promotor/acusação. (10 minutos para ouvir todas as testemunhas.)

2º Momento

10. O juiz reabre a sessão solicitando à Promotoria e ao advogado de defesa que ambos têm 10 minutos para que façam as considerações finais.
11. Considerações finais da promotoria e defesa (10 minutos para cada parte)
12. Jurados decidem a sentença, junto com o juiz. (10 minutos para cada parte)
13. Os jurados saem para sala secreta para deliberar a respeito do júri. (20 minutos para cada parte)
14. Os jurados retornam com o veredicto.
15. O juiz perguntará ao presidente do júri se já chegaram a um veredicto. Neste momento, o presidente responderá que sim e entregará ao oficial de justiça o papel contendo a palavra culpado ou inocente, conforme a decisão dos jurados.
16. Leitura e justificativa da sentença pelo juiz.
17. O juiz/ a juíza anunciará a pena prevista para o crime que está sendo julgado. Logo após a leitura da
18. sentença, o juiz/ a juíza dará a sessão por encerrada.

Fala inicial dos juízes

1. Declaro abertos os trabalhos da 2ª sessão, da 1ª reunião do Tribunal do Júri da comarca de Belo Horizonte, ano de 2022. (art. 462).
2. Determino ao Sr. Escrivão _____ que realize a chamada dos jurados sorteados (art. 463).
3. Tendo comparecido o número de jurados declaro instalada a presente sessão.
4. Vai ser submetido a julgamento o/a réu/ ré: _____ (ler qualificação da denúncia/ resumo do caso/crime). Determino que os policiais presentes no auditório apregoem as partes e as testemunhas, colocado em salas separadas as da acusação, das de defesa, (art. 447 e 454).

5. A seguir o Juiz declara: “Vou proceder à chamada dos jurados que deverão compor o conselho de sentença. Devo adverti-los, entretanto, que são impedidos de servir no mesmo conselho: marido e mulher, ascendentes e descendentes, sogro ou genro ou nora, cunhados durante o cunhadio, tio e sobrinho, padrastrô ou madrasta. Também não poderão servir os jurados que tiverem parentesco com o/a Juiz/Juíza (_____), com o promotor (_____), com o advogado (_____), com o réu (_____) e com a vítima (_____). (art. 448 CPP).
6. Está formado o conselho de sentença, farei a exortação legal, e à chamada, cada um dos senhores deverá responder “Assim prometo”. Todos de pé. “Em nome da lei, concito-vos a examinar com imparcialidade esta causa e a proferir vossa decisão de acordo com a vossa consciência e com os ditames da Justiça” (art. 472).
7. OS JURADOS JÁ ESTARÃO SENTADOS EM SEUS LUGARES E À PROPORÇÃO QUE OS NOMES DOS MESMOS FOREM CHAMADOS FICARÃO DE PÉ E AO FINAL DA LEITURA TODOS DIRÃO “ASSIM PROMETO!”
8. Entregar aos jurados, nesse momento, cópias da decisão de pronúncia e de posteriores decisões que julgaram admissível a acusação, assim como cópia escrita do relatório a respeito do processo. (resumo do caso)
9. Podem sentar-se.

Fala final dos juízes

1. Leitura e justificativa da sentença pelo juiz.
2. O juiz/ a juíza deverá pesquisar previamente qual é a pena prevista para o crime que foi sendo julgado. Caso o réu ou ré seja considerado culpado.
3. Logo após a leitura da sentença, o juiz/ a juíza dará a sessão por encerrada, lendo o seguinte texto: “Declaro encerrados os presentes trabalhos relativos à 2ª sessão, da 1ª reunião do Tribunal do Júri da comarca de Belo Horizonte, periódica do corrente ano de 2022, do Tribunal do Júri Popular desta comarca.
4. Bate o martelo encerrando a sessão.

Falas do oficial de justiça

1. A corte está em sessão. Todos de pé.
2. O oficial de justiça vai até a testemunha e o conduz a cadeira que estará no centro da sala solicitando que ela faça o seguinte juramento:
3. Fala do oficial de justiça: (Juramento)
4. “LEVANTE A MÃO DIREITA. JURA DIZER A VERDADE, SOMENTE A VERDADE, NADA MAIS QUE A VERDADE?” RESPOSTA DA TESTEMUNHA:
5. “EU JURO.”

APÊNDICE F – RECORTE DAS RESPOSTAS DOS ESTUDANTES

RELAÇÃO ENTRE O CÓDIGO QUE REPRESENTA OS PARTICIPANTES, RESPOSTAS DOS ESTUDANTES PARA O PRIMEIRO ITEM DO QUARTO ESTUDO DE CASO SOBRE DOENÇA DE HUNTINGTON E IDEIAS EXTRAÍDAS DO CONTEXTO

Estudante	Depoimento	Ideia
A01	“Sim porque vai acontecer algo com ela”.	Deve contar aos familiares e às filhas.
A02	“Sim, pois elas já iriam estar ciente”.	Deve contar aos familiares e às filhas.
A03	“Sim, pois pode ser genético os outros parentes podem ter também”.	Deve contar aos familiares e às filhas.
A04	“Sim, para quando quiserem começar um tratamento para a doença não se expandir mais, e o paciente ficar piorando”.	Deve contar aos familiares e às filhas.
A05	“Eu acho que moral, pois se as filhas tem 50% de chance de desenvolver a doença elas e os outros parentes devem saber”.	Obrigação moral de contar aos familiares.
A06	“Acho que sim. Para que dependendo outros façam o teste para saber se mais alguém da família teria doença”.	Deve contar aos familiares e às filhas.
A07	“Sim, se outras pessoas tem o risco de pegar eles merecem saber”.	Deve contar aos familiares e às filhas.
A08	“Moral, porque seria bom ela contar para as filhas e deixá-las cientes do estado da mãe, e tentar fazê-las compreender”.	Obrigação moral de contar aos familiares.
A09	“Eu acho que se fosse Camila eu contaria para elas para deixar claro para elas e sempre deixar esclarecido”.	Deve contar aos familiares e às filhas.
A10	Não respondeu.	
A11	“Sim, é importante para ter os devidos cuidados e ficar de olho em tratamentos que vão surgindo”.	Deve contar aos familiares e às filhas.
A12	“Não é sua obrigação mas tentar e cuidar é muito importante”.	Não tem o dever de falar aos familiares e às filhas.
A13	“Um dia quando eles entenderem do assunto, sim, pois assim se tiver algum problema ela se comunica com o médico”.	Deve contar aos familiares e às filhas.
A14	“Legal, pois acho importante a família por dentro do assunto”.	Obrigação legal de relatar seu caso aos familiares.
A15	“Sim pra fazer nas filhas pra ver se elas tem”.	Deve contar aos familiares e às filhas.
A16	“Moral. Se as filhas tivessem a doença, não descobriria pela mãe, e sim quando fosse a um médico”.	Obrigação moral de contar aos familiares.
A17	“Ela tem obrigação moral de contar aos seus familiares, pois se algo acontecer a ela, sua família saberá o possível motivo e para caso sua filha tenha, elas começaria o tratamento”.	Obrigação moral de contar aos familiares.
A18	“Obrigação legal, não acho que ela teria que contar as filhas por elas serem muito pequenas. Mas para os demais parentes sim”.	Obrigação legal de relatar seu caso aos familiares.
A19	“Eu acho que sim. É bom ela não guardar para si mesma, e também alguma hora as filhas e seus parentes próximos irá descobrir”.	Deve contar aos familiares e às filhas.
A20	“Sim”.	
A21	Não respondeu.	

A22	“Sim, por mais que a chance de não passar para os familiares não é tão grande é bom alertar”.	Deve contar aos familiares e às filhas.
A23	“Sim, todos tem que saber dos riscos e probabilidades de elas terem a doença e conseguirem prevenir”.	Deve contar aos familiares e às filhas.
A24	“Sim, pois quanto mais cedo ela falar mais chances de fazer tratamento em suas filhas”.	Deve contar aos familiares e às filhas.
A25	“Não obrigatoriamente para não assustar suas filhas”.	Não tem o dever de falar aos familiares e às filhas.

RELAÇÃO ENTRE O CÓDIGO QUE REPRESENTA OS PARTICIPANTES, RESPOSTAS DOS ESTUDANTES PARA O SEGUNDO ITEM DO QUARTO ESTUDO DE CASO SOBRE DOENÇA DE HUNTINGTON E IDEIAS EXTRAÍDAS DO CONTEXTO

Estudante	Depoimento	Ideia
A01	“Contaria para prevenir e começar o tratamento mais rápido possível”.	Contaria aos familiares independentemente da permissão da paciente.
A02	“Não, quem iria ter que contar seria a própria”.	Não diria aos familiares. Deixaria para a paciente dizer.
A03	“Não, isso seria pessoal, não devo interferir”.	Não diria aos familiares. Deixaria para a paciente dizer.
A04	“Não, isso seria direito dela, só contaria se fosse médico deles também e o caso fosse de extremo risco”.	Não diria aos familiares. Deixaria para a paciente dizer. Diria aos familiares em caso de extremo risco de morte.
A05	“Não, pois existe o sigilo profissional e ético”.	Não diria aos familiares devido ao sigilo profissional.
A06	“Não, deixaria que ela mesmo decidisse porque é um assunto pessoal dela e contando seria uma invasão da privacidade dela e dos direitos de decidir se irá ou não contar aos seus parentes”.	Não diria aos familiares. Deixaria para a paciente dizer. Não diria aos familiares devido ao sigilo profissional.
A07	“Só contaria com a autorização dela”.	Contaria aos familiares com a permissão da paciente.
A08	“Sim, para eles estarem cientes do estado, compreendê-la e ajudá-la”.	Contaria aos familiares independentemente da permissão da paciente.
A09	“Não, eu deixaria ela contar, pois a decisão é dela e eu não quero me intrometer em um assunto tão delicado como esse para os parentes de Camila”.	Não diria aos familiares. Deixaria para a paciente dizer.
A10	Não respondeu.	
A11	“Não porque elas são muito pequenas para entender”.	Não diria às filhas da paciente pela falta de maturidade delas.
A12	Obviamente não pois iria misturar trabalho com opiniões e vida pessoal”.	Não diria aos familiares devido ao sigilo profissional.
A13	“Sim, para eles ficarem sabendo e poder ajudar quando a doença tomar conta”	Contaria aos familiares independentemente da permissão da paciente.
A14	“Não, pois eu acho que essa decisão cabe a Camila fazer”.	Não diria aos familiares. Deixaria para a paciente dizer.
A15	“Sim contaria e pediria pra fazer o teste nas filhas pra saber se ela tem”.	Contaria aos familiares independentemente da permissão da paciente.
A16	“Teria cautela e paciência para dar a infeliz notícia. Dependendo da escolha da mãe, para evitar maior choque, ela mesmo poderia contar”.	Contaria aos familiares com a permissão da paciente.

		Não diria aos familiares. Deixaria para a paciente dizer.
A17	“Não, apenas se a Camila quisesse pois se deve sigilo e respeito a informação da Camila”.	Contaria aos familiares com a permissão da paciente. Não diria aos familiares devido ao sigilo profissional.
A18	“Sim. Não gostaria que eles corressem o risco por que provavelmente os outros parentes próximos já tenham esse risco de desenvolver essa doença”.	Contaria aos familiares independentemente da permissão da paciente.
A19	“Eu ia ficar muito mal. Sim, não iria gostar de guardar isso para mim”.	Contaria aos familiares independentemente da permissão da paciente.
A20	“Não. Porque família tem que saber das coisas não todas”.	Não diria aos familiares, pois eles não devem de saber.
A21	Não respondeu.	
A22	“Sim, alertaria eles sobre os sintomas dessa doença. E que tinha uma chance de ser genética”.	Contaria aos familiares independentemente da permissão da paciente.
A23	“Sim, para eles poderem prevenir no futuro essa doença, e para eles terem noção e ficarem alertas”.	Contaria aos familiares independentemente da permissão da paciente.
A24	“Sim, pois eles iriam me ajudar a conviver com essa doença e dar início ao tratamento”.	Contaria aos familiares independentemente da permissão da paciente.
A25	“Contaria somente a Camila e caso houvesse permissão contaria a outros.	Contaria aos familiares com a permissão da paciente.

RELAÇÃO ENTRE O CÓDIGO QUE REPRESENTA OS PARTICIPANTES, RESPOSTAS DOS ESTUDANTES PARA O TERCEIRO ITEM DO QUARTO ESTUDO DE CASO SOBRE DOENÇA DE HUNTINGTON E IDEIAS EXTRAÍDAS DO CONTEXTO

Estudante	Depoimento	Ideia
A01	“Ainda não, melhor esperar elas crescerem”.	Testar as filhas apenas na fase adulta.
A02	“Acho que sim, as vezes pode ver uma mudança”.	Testar as filhas ainda criança.
A03	“Não, pois ainda são crianças, esperaria ficar mais velha pra fazer o teste”.	Testar as filhas apenas na fase adulta.
A04	“Não sei, ela poderia esperar elas ficarem adultas mas poderia começar cedo o tratamento e evitar no futuro piorar”.	Testar as filhas apenas na fase adulta. Realizar tratamento precoce.
A05	“Acho que sim, se elas pela antecedência da mãe, correm riscos de desenvolver é melhor pra elas fazerem o quanto antes”.	Testar as filhas ainda criança. Realizar tratamento precoce.
A06	“Acho que não, talvez elas mesmas façam quando forem adultas já que é uma doença que só é manifestada quando adulto”.	Testar as filhas apenas na fase adulta.
A07	“Sim, porque nada é impossível”.	Testar as filhas ainda criança.
A08	“Sim, para averiguar se as filhas realmente têm a doença, e caso tenha, já iniciar o tratamento”.	Testar as filhas ainda criança. Realizar tratamento precoce.
A09	“Sim, para ter certeza se elas tem a doença ou não”.	Testar as filhas ainda criança.
A10	Não respondeu.	
A11	“Sim, para saber se elas adquiriram a doença da mãe. Desejo boa sorte a elas”.	Testar as filhas ainda criança.
A12	“Por mais que só se manifeste em adultos devem se preocupar sim”.	Testar as filhas ainda criança.

A13	“Sim, assim quando forem adultas já estarem preparadas para o problema”.	Testar as filhas ainda criança. Se preparar psicologicamente para enfrentar a doença na fase adulta.
A14	“Não, pois essa doença só manifesta em adultos e elas ainda são crianças”.	Testar as filhas apenas na fase adulta.
A15	“Sim porque ela saberia o risco e preservaria a vida delas”.	Testar as filhas ainda criança.
A16	“Sim. Pois o início do tratamento desde cedo melhora a situação das crianças”.	Testar as filhas ainda criança. Realizar tratamento precoce.
A17	“Sim, pois se tivesse algo suspeito ela ajudaria suas filhas, caso no futuro elas tenham”.	Testar as filhas ainda criança.
A18	“Não, por serem pequenas”.	Testar as filhas apenas na fase adulta.
A19	“Sim. O quanto antes ele descobrir seria melhor para tratar quando elas ficarem adultas”.	Testar as filhas ainda criança.
A20	“Não. Porque é errado, porque ela sabe que é filhas dela”.	Não submeter as crianças ao teste genético.
A21	Não respondeu.	
A22	“Não, por motivos delas ainda seres crianças e podem correr riscos sérios”.	Não submeter as crianças ao teste genético. Teste genético pode causar danos ao paciente.
A23	“Não. Porque só se manifesta na fase adulta, seria melhor fazer o teste depois que ela crescer, fazer o teste nela criança não seria necessário. Porque não ia aparecer”.	Testar as filhas apenas na fase adulta.
A24	“Não, por as crianças ainda são muito novinhas para esse tipo de procedimento”.	Testar as filhas apenas na fase adulta. Teste genético pode causar danos ao paciente.
A25	“Sim, pois mesmo que só se manifeste em adultos, poderia haver algum tipo de melhora se descoberta cedo”.	Testar as filhas ainda criança. Se preparar psicologicamente para a doença na fase adulta.

APÊNDICE G – SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Sequência Didática

Edição gênica por CRISPR/Cas9:
uma estratégia de ensino das
biotecnologias com ênfase na
bioética

Mara Letícia Carvalho de Souza Martins



Sumário

Apresentação.....	3
Introdução.....	5
Panorama geral da sequência didática.....	6
Um pouco sobre as biotecnologias.....	8
Afinal, o que é CRISPR/Cas9?.....	9
Habilidades da BNCC.....	12
Aula 1 – Aplicação do questionário de conhecimentos prévios.....	13
Questionário de conhecimentos prévios.....	14
Aula 2 – Discussão dos conceitos de genética e biologia molecular.....	16
Aula 3 – Aula dialogada sobre duplicação do DNA e síntese de proteínas.....	17
Aula 4 – Aplicação dos Estudos de caso.....	18
Estudos de caso.....	19
Aula 5 – Discussão dos estudos de caso.....	21
Aula 6 – Discussão sobre CRISPR/Cas9.....	23
Aula 7 – Documentário sobre CRISPR/Cas9.....	24
Aula 8 – Apresentação dos grupos sobre CRISPR/Cas9.....	25
Aula 9 – Proposição de um teatro – júri simulado.....	26
Cartilha - ORIENTAÇÕES PARA A REALIZAÇÃO DO JÚRI SIMULADO.....	27
Aula 10 – Apresentação do júri simulado.....	30





Apresentação

Olá, colega professor(a),

É fato que vivemos em um tempo de constante debate e controvérsias. Nossas decisões pessoais passam por estas questões, por exemplo: o uso do transporte público ou veículo próprio para ir ao trabalho; apoiar ou não uma causa política; separar ou não o lixo para reciclagem; investir em fontes de energia renováveis ou continuar utilizando derivados do petróleo; consumir ou não produtos transgênicos. Estes são alguns exemplos de questões que são incessantemente confrontadas em nosso cotidiano. É importante que questões polêmicas e controvérsias como essas e, outras mais, sejam abordadas no ambiente escolar.

Neste material você encontrará uma proposta de sequência didática que foi desenvolvida durante o meu trabalho no Mestrado Profissional em Ensino de Biologia em Rede Nacional (ProfBio) na Universidade Federal de Minas Gerais. Pensando na importância da formação cidadã (uma grande preocupação nossa), esta sequência didática foi pautada sob o enfoque CTSA – Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente – e com um viés do Ensino de Ciências por Investigação (EnCI). Se trata de uma sugestão para abordar a Bioética, a Genética e a Biologia Molecular no Ensino Médio usando como meio as biotecnologias de edição de genes e, em especial, a ferramenta CRISPR/Cas9.

Nossa proposta foi desenvolvida para ser implementada na disciplina de Ciências da Natureza e suas Tecnologias do novo ensino médio, disciplinas de aprofundamento dos estudos dos conteúdos tradicionais de Biologia, Física e Química. Optou-se por desenvolver a sequência didática nessa disciplina e devido ao destaque que a bioética apresenta nessa unidade. A proposta desse componente curricular é abordar questões controversas e socio-científicas de modo investigativo e interdisciplinar.

A sequência didática trazida aqui conta com sugestões de atividades, textos e vídeos que poderão complementar seu planejamento de aula. Também disponibilizaremos materiais de leitura para você e seu estudante.





Esperamos que essas atividades ajudem você, professor e professora da rede pública de ensino básico, na empreitada de garantir uma formação digna e cidadã de nossos estudantes. Acredite! Suas ações fazem a diferença na vida dos seus alunos!

Atenciosamente,

Profa. Mara Leticia Carvalho de Souza Martins

E-mail: maraleticia_14@hotmail.com;

mara.leticia@educacao.mg.gov.br





Introdução

O processo de ensino e aprendizagem implica em desafios para professores e estudantes e no que se refere aos conteúdos de Ciências da Natureza isto não é diferente. Pela nossa experiência, os assuntos especificamente abordados na Genética e na Biologia Molecular, são alguns dos temas que os estudantes têm mais dificuldade de aprendizagem. Essa dificuldade pode gerar erros conceituais que, por sua vez, podem vir a prejudicar o entendimento e a aprendizagem efetiva desses conceitos.

Há uma pluralidade de fatores que interferem neste processo e muitos estudos vêm sendo feitos, desde o século passado, no sentido de melhor compreender a causa das dificuldades. Acredita-se que a Genética e a Biologia Molecular exigem um grande grau de abstração ou ainda, que há uma carência no desenvolvimento de metodologias de ensino que conectem a educação formal com o cotidiano do estudante e que promovam o engajamento, o protagonismo estudantil e a consequente significação dos conceitos.

Com esses desafios em mente, a pesquisa de mestrado, orientada pela Profa. Dra. Adlane Vilas-Boas da Universidade Federal de Minas Gerais, culminou em um produto que é esta sequência didática. Ancorada no movimento CTSA (Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente) e com viés investigativo teve por objetivo desenvolver o protagonismo estudantil e fomentar a formação cidadã. Utilizamos a biotecnologia de edição de genes conhecida como CRISPR, sigla em inglês para Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats ou Repetições Palindrômicas Curtas Agrupadas e Regularmente Interespaçadas, como um meio para ensino e discussão de conceitos relacionados à genética e à biologia molecular à luz da bioética.

Acreditamos que as atividades aqui propostas com enfoque investigativo e CTSA permitirão mostrar aos estudantes que as biotecnologias de edição de genes são desenvolvidas de acordo com a necessidade da sociedade. E a ciência e a tecnologia, como frutos do conhecimento humano, podem ser modificadas pela sociedade ao mesmo tempo em que elas a impactam. Caberá ao estudante, enquanto cidadão, decidir e opinar como o a ciência e a tecnologia poderão ser utilizadas e como elas influenciarão a sua vida.

Esperamos que este material contribua para o inspirar a desenvolver aulas mais dinâmicas e engajadoras com os seus estudantes.

Boa leitura e bom trabalho!



Panorama geral da sequência didática:

Para implementação das atividades são sugeridas 10 aulas. Entretanto, a última tarefa, o júri simulado, pode demandar mais encontros. De toda forma, o docente é que saberá, com sua experiência e tipo de turma, adequar as atividades ao seu contexto escolar.

Considerando o desenvolvimento das atividades na disciplina de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, cuja proposta é abordar questões controversas e socio-científicas de modo investigativo e interdisciplinar, encorajamos você, professor, a implementar essas atividades em conjunto com professores de outras disciplinas. A Língua Portuguesa, a Filosofia e a Ciências Humanas e suas tecnologias são exemplos de outros componentes curriculares que podem ser incluídos, além é claro, das disciplinas de Biologia, Física e Química. Os temas tratados aqui são transversais.

O quadro a seguir lhe dará o cronograma planejado para o cumprimento das tarefas. Sabemos das individualidades de cada classe, portanto, lembre-se que você tem total liberdade de alterar este planejamento como quiser.

Público-alvo: Estudantes do Ensino Médio



Aula	Atividades planejadas	Objetivos de ensino
1ª	Aplicação de questionário para avaliação de conhecimentos prévios em genética e biologia molecular	Verificar os conhecimentos prévios
2ª	Discussão dos conceitos de genética e biologia molecular apresentados no questionário	Deteção de conhecimentos prévios sobre os conceitos apresentados no questionário
3ª	Revisão dos conceitos de genética e biologia molecular apresentados na primeira e segunda aula	Percepção e resolução de dúvidas Consolidação dos conceitos de genética e biologia molecular
4ª	Aplicação dos estudos de caso como instrumento de discussão bioética	Propor a reflexão dos impactos que uma mudança genética pode causar na vida do indivíduo e da comunidade
5ª	Discussão dos estudos de caso avaliando as concepções dos estudantes quanto à bioética em edição de genes humanos	Avaliar a postura ética dos estudantes Engajar e estimular participação dos estudantes em questões que envolvam a bioética em sala de aula
6ª	Discussão sobre CRISPR/Cas9 para introduzir conhecimentos sobre biotecnologias Leitura, interpretação e discussão dos materiais fornecidos	Discutir dúvidas sobre CRISPR/Cas9
7ª	Discussão sobre ética e exibição do documentário sobre edição de genes	Promover a construção do pensamento ético por meio da discussão da técnica CRISPR/Cas9 de edição genética Propor a reflexão dos impactos que uma mudança genética pode causar na vida do indivíduo e da comunidade
8ª	Discussão em grupo dos argumentos levantados em grupo sobre aspectos positivos e negativos da edição gênica Apresentação dos argumentos produzidos pelos grupos para toda a turma	Trabalhar a argumentação e a capacidade de síntese das informações Engajar e estimular participação dos estudantes em questões que envolvam a bioética em sala de aula Avaliar a evolução da construção do pensamento crítico dos discentes diante de questões bioéticas
9ª	Proposição de um júri popular simulado sobre edição de genes em humanos	Trabalhar a argumentação e a capacidade de síntese das informações Estimular o protagonismo estudantil Engajar e estimular participação dos estudantes em questões que envolvam a bioética em sala de aula Propor a reflexão dos impactos que uma mudança genética pode causar na vida do indivíduo e da comunidade
10ª	Apresentação do júri simulado	Trabalhar a argumentação e a capacidade de síntese das informações Estimular o protagonismo estudantil Engajar e estimular participação dos estudantes em questões que envolvam a bioética em sala de aula Propor a reflexão dos impactos que uma mudança genética pode causar na vida do indivíduo e da comunidade



Um pouco sobre as biotecnologias



O genoma de um organismo pode ser considerado a fonte de toda informação genética que pode ser herdada. Na maioria dos seres vivos, o DNA é a molécula responsável pelo armazenamento da informação genética hereditária. O DNA é formado por unidades fundamentais nas quais se encontram essa informação genética. Essas unidades, Mendel (1822-1884), o pai da genética moderna em seu trabalho publicado em 1865 chamou de “fator”, que hoje denominamos **gene**. O conjunto de genes de um organismo pode ser chamado de genoma. Cada espécie apresenta um conjunto específico de genes que são responsáveis pela determinação das características morfológicas e funcionais do organismo.

Entendendo a Genética como a ciência biológica que estuda o genoma e a transmissão dos caracteres hereditários, a biotecnologia é todo processo tecnológico que faz uso de material biológico para o desenvolvimento de setores da sociedade humana, como a indústria farmacêutica, médica ou agropecuária. A biotecnologia, independente da área de análise, tem por objetivo elaborar e desenvolver produtos associados à qualidade de vida de forma a diminuir o tempo e o custo despendido na tarefa (VANZELA; SOUZA, 2009). Apesar do termo biotecnologia ser, de certa forma, recente, a humanidade tem buscado técnicas de produção e de aprimoramento de seres vivos desde a Antiguidade, com a produção de queijos, bebidas alcoólicas, seleção e cultivo de plantas e criação de animais.

Referência bibliográfica e leitura sugerida:

VANZELA, A. L. L.; SOUZA, R. F. **Avanços da Biologia Celular e da Genética Molecular**. 1a ed. São Paulo: Editora UNESP, 2009.

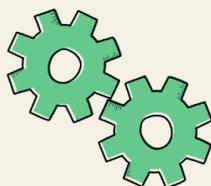


Afinal, o que é CRISPR/Cas9?

Como descrito anteriormente, cada espécie possui um conjunto específico de genes. Além disso, o genoma de eucariotos é muito maior que o genoma de procariotos. O genoma procarioto é composto por uma única molécula de DNA circular com alta densidade de genes que codificam proteínas (VANZELA; SOUZA, 2009). Entretanto, o genoma desses organismos apresenta ainda uma porção de DNA não codificante formado por sequências de nucleotídeos curtas, palindrômicas e regularmente inter espaçadas conhecido como CRISPR, sigla em inglês para Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats ou Repetições Palindrômicas Curtas Agrupadas e Regularmente Inter espaçadas.

CRISPR é, assim, um locus de genomas de procariotos e um mecanismo natural do sistema imune de procariotos em defesa a invasões virais causadas por bacteriófagos. Quando bactérias e arqueias são infectadas por vírus elas são capazes, por meio de enzimas do tipo endonucleases denominadas Cas, de clivar o material genético do vírus invasor e incorporá-lo ao seu DNA. Esse mecanismo permite o registro e o reconhecimento genético do patógeno. Dessa forma, caso haja uma nova infecção pelo mesmo vírus, o procarioto pode utilizar essa informação genética para se defender do agente infeccioso (CARLI; SOUZA; PEREIRA, 2017).

As endonucleases Cas, e em específico a enzima Cas9, usada no sistema CRISPR é guiada por um RNA. Uma vez que o DNA invasor já tenha sido incorporado ao locus CRISPR, a bactéria pode sintetizar um RNA com a sequência de nucleotídeos complementar ao DNA do patógeno que servirá para direcionar a Cas9. Essa enzima cortará o DNA do vírus invasor no local específico onde o DNA viral seja complementar ao RNA guia (CARLI; SOUZA; PEREIRA, 2017).





Em 2012, a parceria de dois laboratórios, coordenados por mulheres, mostrou que esse mesmo sistema baseado em um RNA guia e uma enzima de restrição poderia ser utilizado para clivar e manipular o DNA de outros seres vivos por meio do simples reconhecimento e pareamento dos nucleotídeos. Esse trabalho rendeu o Prêmio Nobel de Química em 2020 à Emmanuelle Charpentier e à Jennifer Doudna. Emmanuelle Charpentier, francesa de 54 anos, é diretora do Instituto Max Planck de Biologia de Infecções em Berlim e professora visitante na Universidade de Umea na Suécia. Jennifer Doudna, americana de 58 anos, é professora da Universidade da Califórnia em Berkeley, nos Estados Unidos. O Prêmio Nobel é considerado uma das principais condecorações mundiais de reconhecimento profissional e foi a primeira vez na história que duas mulheres ganham juntas o Nobel de Química.

A ferramenta CRISPR é similar ao sistema imune dos procariotos. Utiliza-se basicamente das endonucleases (Cas9) e do RNA guia. A sequência de interesse (a ser modificada) é transcrita baseada na sequência do RNA guia que se liga ao DNA alvo. Esse RNA guia pode ser projetado para nortear a Cas9 para qualquer lugar do genoma. Dessa forma, uma vez administrado o complexo Cas9/RNA-guia, essa endonuclease é levada até a região do genoma que seja complementar ao RNA guia. Dado emparelhamento total dos nucleotídeos do genoma e do RNA guia, a enzima Cas9 corta (cliva) o DNA, o que resulta na quebra da dupla fita. Tal processo é letal para a célula que imediatamente inicia mecanismos naturais de reparação do material genético, como a junção de extremidades não homólogas (NHEJ) e o reparo direcionado por homologia (HDR) (CARLI; SOUZA; PEREIRA, 2017).

Dado o grande potencial de CRISPR/Cas9 para edição gênica, faz-se necessário realizar ponderações éticas a respeito das possibilidades de aplicação dessa técnica. Com essas considerações pode-se iniciar uma discussão sobre bioética em salas de aula da Educação Básica, considerando que é um tema relevante para a sociedade e envolve controvérsias

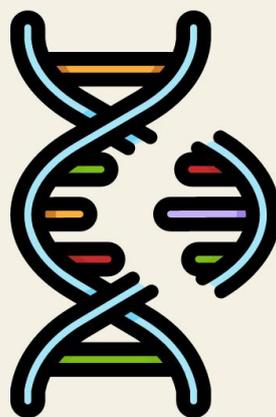




Atenção!



Não é nossa intenção que os estudantes da Educação Básica saibam em detalhes como funcionam as ferramentas de edição de genes, como CRISPR/Cas9, por exemplo. Nossa proposta é que eles tivessem conhecimento da existência delas, dos impactos que sua utilização pode ter, seja na saúde, agricultura ou economia e que, enquanto indivíduos pertencentes a uma sociedade, precisam questionar e opinar sobre o desenvolvimento da ciência e seus produtos em nossa sociedade.



Referência bibliográfica e leitura sugerida:

CARLI, G. J. DE; SOUZA, T. A. J. DE; PEREIRA, T. C. **A revolucionária técnica de edição genética “CRISPR”**. *Genética na Escola*, v. 12, n. 2, p. 114–123, 2017.

SOUZA, T. A. J. DE; PEREIRA, T. C. **O impacto na sociedade da tecnologia de edição gênica com base no sistema CRISPR-Cas9**. *Genética na Escola*, v. 12, n. 2, p. 124–131, 2017.





**BASE
NACIONAL
COMUM
CURRICULAR**

Habilidades

(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.

(EM13CNT302) Comunicar, para públicos variados, em diversos contextos, resultados de análises, pesquisas e/ou experimentos, elaborando e/ou interpretando textos, gráficos, tabelas, símbolos, códigos, sistemas de classificação e equações, por meio de diferentes linguagens, mídias, tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC), de modo a participar e/ou promover debates em torno de temas científicos e/ou tecnológicos de relevância sociocultural e ambiental.

(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 (tais como tecnologias do DNA, tratamentos com células-tronco, neurotecnologias, produção de tecnologias de defesa, estratégias de controle de pragas, entre outros), com base em argumentos consistentes, legais, éticos e responsáveis, distinguindo diferentes pontos de vista. (BRASIL, 2018, p.559).

Referência bibliográfica:

BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular - BNCC**. Ministério da Educação, p. 1–600, 2018.



Aula 1 - Aplicação do questionário de conhecimentos prévios

Sabendo da importância de identificarmos os conhecimentos prévios trazidos pelos nossos estudantes a fim de valorizá-los e engajá-los nas discussões que se farão, elaboramos um questionário que aborda conceitos da genética e biologia molecular.

Duração: 1 hora/aula.

Objetivos de aprendizagem:

- Detecção de conhecimentos prévios;
- Estimular o protagonismo estudantil;

Material e métodos:

- Questionário de conhecimentos prévios.



Procedimentos:

- O professor deverá providenciar a impressão de uma cópia questionário para cada estudante.
 - Solicitar aos estudantes que respondam o questionário.
 - Caso o professor prefira, pode-se pedir aos estudantes que respondam às perguntas em duplas, trios ou grupos.
- 

Questionário

7. As mutações são alterações permanentes nas informações genéticas que podem ser transmitidas de célula para célula ou do pai para os seus descendentes.

Verdadeiro.

Falso.

8. O material genético que você recebe é o mesmo que você transmite aos seus descendentes.

Verdadeiro.

Falso.

9. As informações genéticas geralmente são transferidas do DNA para o RNA e deste para as proteínas.

Verdadeiro.

Falso.

10. Os genes (genótipo) são herdados e, junto com os fatores ambientais, determinam a expressão das características (fenótipo).

Verdadeiro.

Falso.

11. (Adaptado de Silveira e Amabis, 2003) Preencha a tabela a seguir marcando com um (X) caso as células apresentem os itens indicados.

Células	Cromossomos	Genes	DNA
Glóbulos vermelhos (hemácias)	()	()	()
Células nervosas (neurônios)	()	()	()
Células da pele (epiteliais)	()	()	()
Gametas (espermatozoides ou óvulos)	()	()	()

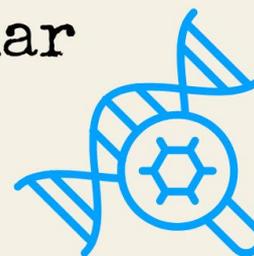


Aula 2 - Discussão dos conceitos de genética e biologia molecular

Duração: 1 hora/aula.

Objetivos de aprendizagem:

- Estimular o protagonismo estudantil;
- Verificar que conhecimentos sobre genética e biologia molecular os estudantes trazem consigo;
- Engajar e estimular a participação dos estudantes em questões que envolvam a genética e a biologia molecular.



Material e métodos:

- Compilado das respostas dos estudantes às perguntas do questionário de conhecimentos prévios;
- Computador;
- Projetor de vídeo.

Procedimentos:

- Sugere-se que o professor não entregue as respostas dadas no questionário de conhecimentos prévios aos estudantes.
 - Encorajamos o professor a fazer um tipo de gráfico com o compilado das respostas dos estudantes às perguntas do questionário de conhecimentos prévios. Esses gráficos poderão ser projetados para os estudantes para que façam a discussão das respostas.
 - Inspiramos o professor a não fornecer nenhuma a resposta correta às perguntas nesta aula, mas devolvê-las aos estudantes para permiti-los construir o conhecimento juntos.
 - Solicitar aos estudantes que pesquisem e escrevam com suas palavras as definições dos conceitos discutidos na aula.
- 

Aula 3 – Aula dialogada sobre duplicação do DNA e síntese de proteínas

Duração: 1 hora/aula.



Objetivos de aprendizagem:

- Estimular o protagonismo estudantil;
- Verificar que conhecimentos sobre genética e biologia molecular os estudantes trazem consigo;
- Engajar e estimular a participação dos estudantes em questões que envolvam a genética e a biologia molecular;
- Reconhecer o DNA como fonte da informação genética hereditária.

Material e métodos:

- Sala multimídia ou computador; projetor vídeo e caixa de som;
- Apresentação de slides com os conceitos abordados na aula;
- Vídeos explicativos sobre a dinâmica dos processos celulares, como os sugeridos a seguir:

Material sugerido		Referência
1.	Vídeo – Do DNA à Proteína (3min e 13seg)	CANAL INTELIGENTISTA. Do DNA à Proteína. Disponível em: < https://www.youtube.com/watch?v=6nxRxoGME_I&feature=youtu.be >. Acesso em: 24 fev. 2021.
2.	Vídeo –Replacação do DNA (3min e 27seg)	YOURGENOME. DNA replication - 3D - YouTube. Disponível em: < https://www.youtube.com/watch?v=TNKWgcFPHqw >. Acesso em: 18 out. 2021.
3.	Vídeo – Estrutura e replicação do DNA (14min e 24 seg)	KHAN ACADEMY. Estrutura e replicação de DNA Biologia YouTube. Disponível em: < https://www.youtube.com/watch?v=34Jr2U7KwOE&t=5s >. Acesso em: 18 out. 2021.

Procedimentos:

- Sugere-se que seja previamente preparado uma apresentação de slides contendo imagens que podem ser usadas para explicar os conceitos abordados nas aulas 1 e 2.
- Para complementar o entendimento e dinâmica dos processos celulares, também recomenda-se utilizar recursos audiovisuais disponíveis na plataforma YouTube, conforme estão referenciados em Material e métodos desta aula.



Aula 4 - Aplicação dos Estudos de caso

Tendo em mente a ideia de iniciar as discussões sobre a edição de genes, elaboramos quatro estudos de caso em que foram relatados casos fictícios de edição de genes.

Duração: 1 hora/aula.

Objetivos de aprendizagem:

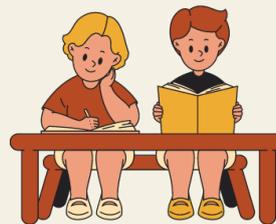
- Estimular o protagonismo do estudante.
- Propor a reflexão dos impactos que uma mudança genética pode causar na vida do indivíduo e da comunidade.
- Engajar e estimular participação dos estudantes em questões que envolvam a bioética em sala de aula.

Material e métodos:

- Questionário com os estudos de caso.

Procedimentos:

- O professor deverá providenciar a impressão de uma cópia questionário para cada estudante.
- Sugere-se que estes estudos de caso sejam respondidos após a finalização das aulas sobre os conceitos da genética e da biologia molecular.
- Solicitar aos estudantes que respondam da forma mais clara possível quais seriam as suas atitudes diante dos casos relatados.
- Caso o professor prefira, pode-se pedir aos estudantes que respondam às perguntas em duplas, trios ou grupos.





Estudos de caso

1. Miguel, um garoto de 8 anos que mora no interior de Minas Gerais com os seus pais e outros dois irmãos, foi diagnosticado aos seis meses de idade com uma doença rara conhecida como Amaurose Congênita de Leber (ACL). Se trata de uma doença hereditária degenerativa que leva à cegueira.

Existe um tratamento, ainda experimental, que pode ajudar Miguel a enxergar. Neste tratamento é possível alterar a sequência de bases nitrogenadas que formam os genes “defeituosos” de Miguel e que lhes causam cegueira. Contudo, sabemos que existem pelo menos 24 genes causadores da ACL e que um gene pode decodificar ou interferir em mais de uma característica no indivíduo. Nos casos a seguir, analise como seria sua atuação.

- a) Se fosse um dos pais dessa criança, você aceitaria participar deste tratamento experimental? Explique.
- b) Se fosse um dos cientistas desse caso, você faria o procedimento em Miguel? Como faria? Qual seria a sua atitude? Explique.

2. Ana e João são um jovem casal que está planejando ter filhos em breve e decidiram procurar aconselhamento genético para ter filhos perfeitos. O casal selecionou algumas características que gostariam de ter no seu futuro bebê. Sabendo da existência da técnica de edição de genes citada no caso anterior, eles pretendem consultar um(a) geneticista. Entre as características estão:

- Ausência de calvície precoce. João é calvo desde os 23 anos e isso sempre o incomodou. Ele não deseja que esses genes sejam transmitidos ao seu futuro filho(a).
- Estatura mediana. O casal sabe que, infelizmente na sociedade que vivemos, pessoas mais baixinhas ou muito altas são constantemente vítimas de risadas em escolas e até no ambiente de trabalho.
- Ausência de mutação no gene BRCA1 ou BRCA2. Ana tem histórico familiar de câncer de mama e quer garantir que o seu bebê nunca venha passar por isso. Esses genes são responsáveis por 5% a 10% das ocorrências de câncer de mama e de ovário no mundo. Contudo, sabe-se que 90% a 95% dos casos de câncer de mama não estão associados a mutações nesses dois genes.
- Melhor desempenho atlético. Ana e João são ciclistas desde a adolescência e foi assim, no esporte, que se conheceram. O casal sabe da importância da prática de atividade física regularmente e querem que o(a) futuro(a) filho(a) tenha a mesma aptidão pelos esportes ou até maior que eles.

Se você fosse o geneticista responsável pelo atendimento desse casal, o que você faria? Você acha correto que esse tipo de terapia gênica seja usado para tal finalidade? Qual seria a sua atitude? Explique.





Estudos de caso

3. (Adaptado de Pierce, 2016) Suponha que você seja submetido a um teste genético aos 18 anos quanto à suscetibilidade de uma doença genética, como a Esclerose lateral amiotrófica (ELA), uma doença neurodegenerativa progressiva que se inicia na idade adulta. É causada pela morte dos neurônios motores localizados no córtex cerebral, no tronco encefálico e na medula espinal. O início e o tempo de progressão variam, mas ocorre a perda de força dos membros superiores e/ou inferiores, o comprometimento da fala e da deglutição, bem como da função respiratória. Para essa doença existe tratamento para reduzir o desconforto, mas não há cura. Entretanto, cerca de 90% dos casos são esporádicos, ou seja, não se observa recorrência familiar da doença. Os 10% restantes podem apresentar padrão de herança autossômica dominante ou recessiva.

- a) Quais seriam os possíveis motivos para fazer esse teste e quais seriam os possíveis motivos para não o fazer?
- b) Você gostaria de fazer este teste? Explique seu motivo.
- c) Agora suponha que você seja o geneticista. Você faria o teste genético nesse paciente? Daria o diagnóstico a seu paciente? Explique seu motivo.
- d) Pense a respeito: saber dos riscos vai ajudar ou simplesmente angustiar a pessoa? Escreva o seu ponto de vista.

4. (Adaptado de Pierce, 2016) Camila, uma mulher de 25 anos foi submetida a um teste genético e descobriu que tem um grande risco de desenvolver Doença de Huntington. A Doença de Huntington, também conhecida como Coreia de Huntington, é uma doença neurodegenerativa que afeta o sistema nervoso central, em geral de início tardio. É causada por uma mutação em um gene que codifica a proteína huntingtina. Caracteriza-se por movimentos involuntários, perda progressiva da força muscular e demência. A herança é autossômica dominante e, portanto, os afetados têm um risco de 50% de transmitir o gene defeituoso para sua descendência. Sabendo que suas filhas, Joana (7 anos) e Elizabete (5 anos) têm 50% dos seus genes, elas também correm maior risco para esta doença. Sendo assim, responda:

- a) Camila tem a obrigação moral ou legal de contar às suas filhas e outros parentes próximos sobre os resultados do seu teste genético? Explique seu raciocínio.
- b) O que você faria se estivesse na situação dos geneticistas responsáveis pelo teste genético? Contaria aos parentes próximos de Camila? Explique seu raciocínio.
- c) Você acha que seria ético Camila testar as filhas, que ainda são crianças, para a Doença de Huntington e que só se manifesta em adultos? Explique seu motivo.

Referências

- PIERCE, B. A. **Genética: um enfoque conceitual**. 5a ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2016.
- SILVEIRA, R. V. M. DA; AMABIS, J. M. **Como os estudantes do ensino médio relacionam os conceitos de localização e organização do material genético?** IV Encontro Nacional em Educação e Ensino em Ciências, p. 1-12, 2003.
- ZATZ, M. **Genética: escolhas que nossos avós não faziam**. 1a ed. São Paulo: Globo, 2011.
- 

Aula 5 - Discussão dos estudos de caso

Duração: 1 hora/aula.

Objetivos de aprendizagem:

- Estimular o protagonismo do estudante.
- Propor a reflexão dos impactos que uma mudança genética pode causar na vida do indivíduo e da comunidade.
- Engajar e estimular participação dos estudantes em questões que envolvam a bioética em sala de aula.



Material e métodos:

- Estudos de caso.

Procedimentos:

- Recomendamos que o professor faça uma roda de conversa para verificar quais seriam as atitudes dos estudantes diante de questões que envolvem a bioética.
- Sugere-se a escuta das opiniões de cada um tendo em mente de que não há uma resposta correta, mas cabe a sociedade e aos conselhos de ética chegarem a um consenso para o bem comum quanto aos limites e possibilidades de realização de procedimentos como os relatados.
- Consideramos que seja interessante que esta aula seja feita em conjunto com o professor(a) de Filosofia.
- Após a discussão dos estudos de caso, engajar os estudantes a refletir sobre ferramentas reais de edição de genes humanos, como CRISPR/Cas9, por exemplo.
- Recomendamos aqui disponibilizar os artigos científicos, jornalísticos e de divulgação científica que se encontram nesta aula. Esses materiais servirão também como referencial teórico para as próximas aulas.
- Solicitar aos estudantes que façam a leitura dos materiais em casa para discussão na próxima aula.



Aula 5 - Discussão dos estudos de caso

Sugestões de materiais		Referência
1.	Duas geneticistas vencem prêmio Nobel de Química	AFP. Duas geneticistas vencem prêmio Nobel de Química. Disponível em: < https://www.otempo.com.br/interessa/duas-geneticistas-vencem-premio-nobel-de-quimica-1.2395625 >. Acesso em: 18 out. 2021.
2.	Adaptação do artigo O impacto na sociedade da tecnologia de edição gênica com base no sistema CRISPR-Cas9	SOUZA, T. A. J. DE; PEREIRA, T. C. O impacto na sociedade da tecnologia de edição gênica com base no sistema CRISPR-Cas9. <i>Genética na Escola</i> , v. 12, n. 2, p. 124-131, 2017.
3.	Adaptação do artigo A revolucionária técnica de edição genética "CRISPR"	CARLI, G. J. DE; SOUZA, T. A. J. DE; PEREIRA, T. C. A revolucionária técnica de edição genética "CRISPR". <i>Genética na Escola</i> , v. 12, n. 2, p. 114-123, 2017.
4.	Chinês que diz ter editado genes de bebês desaparece e levanta suspeita de prisão, dizem jornais	G1. Chinês que diz ter editado genes de bebês desaparece e levanta suspeita de prisão, dizem jornais. Disponível em: < https://g1.globo.com/ciencia-e-saude/noticia/2018/12/03/chines-que-diz-ter-editado-genes-de-bebes-desaparece-e-levanta-suspeita-de-prisao-dizem-jornais-do-pais.ghtml >. Acesso em: 18 out. 2021.
5.	Edição de DNA de gêmeas chinesas pode ter afetado o cérebro, aponta MIT	G1. Edição de DNA de gêmeas chinesas pode ter afetado o cérebro, aponta MIT. Disponível em: < https://g1.globo.com/ciencia-e-saude/noticia/2019/02/21/edicao-de-dna-de-gemeas-chinesas-pode-ter-afetado-o-cerebro-aponta-mit.ghtml >. Acesso em: 18 out. 2021.
6.	OMS cria comitê para debater futuro da edição genética humana	DANTAS, C.; G1. OMS cria comitê para debater futuro da edição genética humana. Disponível em: < https://g1.globo.com/ciencia-e-saude/noticia/2019/03/19/oms-cria-novo-comite-com-maioria-feminina-para-debater-futuro-da-edicao-genetica-humana.ghtml >. Acesso em: 18 out. 2021.
7.	crispoquê?	PEZZO, M. crispoquê? Disponível em: < http://www.labi.ufscar.br/2019/03/28/crispoque/ >. Acesso em: 18 out. 2021.
8.	Cientistas usam técnica CRISPR para tornar Aedes aegypti 'cego'	COSTA, L. Cientistas usam técnica CRISPR para tornar Aedes aegypti 'cego'. Disponível em: < https://super.abril.com.br/ciencia/cientistas-usam-tecnica-crispr-para-tornar-aedes-aegypti-cego/ >. Acesso em: 18 out. 2021.
9.	Pela 1ª vez, técnica CRISPR é injetada no sangue para tratar doença rara	REDAÇÃO GALILEU. Pela la vez, técnica CRISPR é injetada no sangue para tratar doença rara. Disponível em: < https://revistagalileu.globo.com/Ciencia/Saude/noticia/2021/06/pela-1-vez-tecnica-crispr-e-injetada-no-sangue-para-tratar-doenca-rara.html >. Acesso em: 18 out. 2021.
10.	CRISPR, uma ferramenta de edição genética, no tratamento do câncer	MELLO, R. A. DE. CRISPR, uma ferramenta de edição genética, no tratamento do câncer. Disponível em: < https://saude.abril.com.br/blog/com-a-palavra/crispr-uma-ferramenta-de-edicao-genetica-no-tratamento-do-cancer/ >. Acesso em: 18 out. 2021.
11.	Técnica de edição de genes reverte cegueira de duas pessoas nos EUA	CONTAIFER, J. Técnica de edição de genes reverte cegueira de duas pessoas nos EUA. Disponível em: < https://www.metropoles.com/saude/tecnica-de-edicao-de-genes-reverte-cegueira-de-duas-pessoas-nos-eua >. Acesso em: 18 out. 2021.



Aula 6 - Discussão sobre CRISPR/Cas9



Duração: 1 hora/aula.

Objetivos de aprendizagem:

- Promover a construção do pensamento ético por meio da discussão da técnica CRISPR/Cas9 de edição genética.
- Estimular o protagonismo do estudante.
- Propor a reflexão dos impactos que uma mudança genética pode causar na vida do indivíduo e da comunidade.
- Engajar e estimular participação dos estudantes em questões que envolvam a bioética em sala de aula.

Material e métodos:

- Artigos científicos, jornalísticos e de divulgação científica que foram disponibilizados na aula anterior.

Procedimentos:

- Esta aula dedica-se a sanar possíveis dúvidas dos estudantes sobre edição de genes.
- Sugere-se novamente uma roda de conversa para ouvir a opinião dos estudantes sobre as possibilidades de aplicação de CRISPR/Cas9 nos diversos setores da sociedade.
- Consideramos que seja interessante que esta aula seja feita em conjunto com o professor(a) de Filosofia e/ou de Ciências Humanas e suas Tecnologias.
- Ao final das discussões, solicitar aos estudantes que se dividam em grupos menores, de quatro ou cinco indivíduos e preparem uma apresentação oral onde eles deverão explicar o que é CRISPR, quais são os aspectos positivos e negativos da utilização dessa técnica de edição genômica e indicando se, na opinião do grupo, essa técnica pode ser usada para editar genes humanos.
- Essas apresentações deverão ser agendadas para a aula 8.
- Recomendamos que não seja cobrado deles conhecer em detalhes em que consiste essa ferramenta de edição gênica. A intenção aqui é proporcioná-los conhecimento da existência das possibilidades de edição de genes dos seres vivos e que eles, enquanto sujeitos da sociedade, devem ter esse conhecimento para decidir e opinar sobre a utilização dessas biotecnologias.

Aula 7 - Documentário sobre CRISPR/Cas9

Duração: 1 hora/aula.

Objetivos de aprendizagem:

- Promover a construção do pensamento ético por meio da discussão da técnica CRISPR/Cas9 de edição genética.
- Estimular o protagonismo do estudante.
- Propor a reflexão dos impactos que uma mudança genética pode causar na vida do indivíduo e da comunidade.
- Engajar e estimular participação dos estudantes em questões que envolvam a bioética em sala de aula.

Material e métodos:

- Sala multimídia ou computador; projetor vídeo e caixa de som;

Acesso ao documentário da Netflix – Explicando – 1T:E2 – ‘DNA projetado’.



Fonte: <https://www.netflix.com/br/title/80216752>

Procedimentos:

- Acreditamos que a exibição deste documentário auxiliará a engajar os estudantes a discutir as questões éticas e morais associadas à edição de genes.
- Após a exibição do vídeo, realizar uma nova discussão com os participantes sobre a edição de genes. É importante instigá-los trazendo aspectos positivos e negativos da edição de genes.
- A intenção é promover uma reflexão sobre o tema.
- Consideramos que seja interessante que esta aula seja feita em conjunto com o professor(a) de Filosofia e/ou de Ciências Humanas e suas Tecnologias. Os professores dessas áreas possuem maior propriedade para promover o debate do ponto de vista ético e moral, como sugerido.

Aula 8 - Apresentação dos grupos sobre CRISPR/Cas9

Duração: 1 hora/aula.

Objetivos de aprendizagem:

- Promover a construção do pensamento ético por meio da discussão da técnica CRISPR/Cas9 de edição genética.
- Estimular o protagonismo do estudante.
- Propor a reflexão dos impactos que uma mudança genética pode causar na vida do indivíduo e da comunidade.
- Engajar e estimular participação dos estudantes em questões que envolvam a bioética em sala de aula.

Material e métodos:

- Sala multimídia ou computador; projetor vídeo e caixa de som;

Procedimentos:

- Organizar os grupos na apresentação de seus argumentos.
- Ressaltar os aspectos positivos e negativos da utilização das biotecnologias de edição de genes.



Aula 9 - Proposição de um teatro - júri simulado



Duração: 1 hora/aula.

Objetivos de aprendizagem:

- Promover a construção do pensamento ético por meio da discussão da técnica CRISPR/Cas9 de edição genética.
- Estimular o protagonismo do estudante.
- Propor a reflexão dos impactos que uma mudança genética pode causar na vida do indivíduo e da comunidade.
- Engajar e estimular participação dos estudantes em questões que envolvam a bioética em sala de aula.

Material e métodos:

- Cartilha com informações sobre a importância de cada personagem no júri e da equipe técnica, bem como uma orientação do tempo e etapas do júri.
- Laboratório de informática ou computadores, impressora e papel.

Procedimentos:

- Solicitar aos estudantes que elaborem uma peça de teatro representando um júri popular em que deverá ser julgado se a técnica CRISPR/Cas9 poderá ou não ser usada para editar genes humanos.
- Orientar os estudantes a se organizarem de acordo com os personagens que atuam em um júri, tais como: juiz; advogados de defesa; promotoria; réu; testemunhas de defesa e de acusação; profissionais que podem atuar no processo (geneticista, médico, paciente, assistente social, policial, entre outros); vítima e o júri popular. Além disso, os participantes também deverão papéis de equipe técnica do teatro, como cenógrafos, diretores, roteiristas, figurinistas e apoio de set.
- Solicitar aos estudantes diretores, roteiristas e personagens do júri que criem uma história para o roteiro do júri. Para construção do roteiro, os estudantes poderão utilizar outros espaços da escola, como o laboratório de informática, caso este exista e seja possível sua utilização.
- Enquanto isso, solicitar aos demais estudantes da equipe técnica que pensem e construam um cenário para o júri.
- Para auxiliar no roteiro e execução do teatro, recomendamos incluir os professores da área de Linguagens, Códigos e suas Tecnologias e da área de Ciências Humanas e suas Tecnologias.
- Dada a complexidade desta proposta, sugerimos a utilização de diversas aulas para construção do roteiro, cenário e ensaios da peça.
- Coordenar todo o processo, desde a elaboração da peça de teatro, à apresentação do júri popular.





Cartilha – ORIENTAÇÕES PARA A REALIZAÇÃO DO JÚRI SIMULADO

Objetivos:

- Debater o tema, levando os participantes a tomar um posicionamento através da argumentação.
- Exercitar a expressão oral e o raciocínio lógico-argumentativo.
- Amadurecer o senso crítico.
- Decidir se a técnica CRISPR pode ou não ser usada para editar genes humanos.

Participantes

- **Juiz (4):** um juiz por sala. Dirige e coordena as intervenções e o andamento do júri. Juiz é a autoridade máxima do Tribunal, mas não é responsável pela decisão dos jurados em condenar ou absolver o réu. Conduz os trâmites do julgamento, e define a pena quando há uma condenação.
 - **Réu:** o acusado, cujo ato específico é o objeto de discussão do júri. Em um júri existe também a possibilidade de não existir réu. Assim, trata-se da acusação ou da defesa de um assunto específico. No máximo 1 por sala (a se pensar).
 - **Jurados (20):** alunos, professores, funcionários da escola e pais/responsáveis. Ouvirão todo o processo e no final das exposições, declaram se o réu é ou não culpado.
 - **Conselho de sentença:** Dos 20 jurados intimados, só 07 (sete) compõem o Conselho de Sentença e realmente julgam. São escolhidos por sorteio e podem ser recusados por uma das partes. São permitidas até três recusas sem explicações, e, em seguida, novos nomes são sorteados. Ao final do júri.
 - **Sala secreta:** Para cada quesito a ser votado, os jurados recebem uma cédula com a palavra "sim" e outra com a palavra "não". As decisões são tomadas por maioria simples e a votação é sigilosa, ou seja, os jurados não podem conversar sobre suas impressões do caso. Se um julgamento demorar dois dias ou mais, os jurados ficam em alojamentos e são acompanhados por oficiais de justiça.
 - **Promotores (advogados de acusação) (04):** um por sala. Também chamados de advogados de acusação, buscam condenar o réu, por meio de argumentos coerentes, provas e apresentação de testemunhas. Devem acusar o "réu" (ou assunto), a fim de condená-lo.
- 



Cartilha – ORIENTAÇÕES PARA A REALIZAÇÃO DO JÚRI SIMULADO

Participantes

- **Testemunhas:** fornecem argumentos que podem reforçar a suposta inocência do acusado, ou sua responsabilidade no caso em questão. Defesa e acusação convocam até cinco testemunhas cada. O juiz também pode solicitar a presença de uma testemunha. As testemunhas podem ou não ter visto o crime acontecer.
- Ø Testemunha de defesa: até 05 participantes.
- Ø Testemunha de acusação: até 05 participantes.
- **Advogados de defesa (04):** um por sala. Como o nome sugere, eles defendem o acusado (réu), com base em argumentos coerentes, provas e apresentação de testemunhas.
- **Escrivão/escrivã (04):** um por sala. Responsável pela escrita de tudo que é falado durante o júri.
- **Cientistas:** profissionais técnicos específicos que irão explicar, por meio de argumentos científicos, a técnica CRISPR reforçando ou não os seus potenciais de aplicação.
- Ø Cientistas de defesa: até 04 participantes.
- Ø Cientistas de acusação: até 04 participantes.
- **Oficial de Justiça (04):** um por sala. Responsável por conduzir a entrada do juiz ou juíza no tribunal. Chama todas as pessoas que irão depor. Conduz o juramento que elas farão.
- **Policiais (06):** até seis participantes. Responsáveis por manter a ordem e a segurança do júri. Conduz o réu/ré à penitenciária, caso essa seja condenado(a).

Bastidores – Equipe técnica

Operações realizadas fora dos personagens do júri

- **Cenógrafos:** Também chamado cenarista, é aquele que cria o projeto cenográfico e monta o espaço cênico de modo realista ou conforme idealizado pelo dramaturgo.
 - **Diretor:** Representantes de sala. Coordenador geral de todos os aspectos envolvidos com o espetáculo, aprova a escolha do elenco, o cenário, o figurino, iluminação etc.
 - **Dramaturgo/Roteirista (16):** quatro por sala. É o literato que escreve a peça teatral. Autor de um texto dramático, que é a literatura destinada ao teatro.
 - **Figurinista (08):** dois por sala. É aquele que cria, orienta e acompanha a feitura dos trajes para um espetáculo teatral.
- 



Cartilha – ORIENTAÇÕES PARA A REALIZAÇÃO DO JÚRI SIMULADO

Bastidores – Equipe técnica

Operações realizadas fora dos personagens do júri

- **Apoio de set (08):** dois por sala. Ajuda em pequenas coisas.
- **Fotografia/Cinegrafia (04):** um por sala. O trabalho da fotografia/cinegrafia começa na pré-produção, lendo o roteiro, conversando com o diretor, pesquisando referências, escolhendo a equipe e o equipamento. No set, o profissional escolhe qual vai ser a composição da iluminação, os movimentos de câmera e o enquadramento. A fotografia/cinegrafia no cinema reforça aspectos da narrativa e guia o olhar do telespectador.
- **Assessor de imprensa/Jornalista (04):** um por sala. Responsável pela divulgação da peça, relações públicas, organiza entrevistas com o elenco, diretor no set de filmagem e fora dele.
- **Equipe de som (02):** se houver vídeo ao áudio a ser exibido.
- **Plateia:** assiste ao júri em completo silêncio, anotado e formulado o texto que será cobrado pela professora contendo a opinião de cada um dos participantes acerca do resultado do júri.





Aula 10 – Apresentação do júri simulado

Duração: 2 horas/aula.

Objetivos de aprendizagem:

- Promover a construção do pensamento ético por meio da discussão da técnica CRISPR/Cas9 de edição genética.
- Estimular o protagonismo do estudante.
- Propor a reflexão dos impactos que uma mudança genética pode causar na vida do indivíduo e da comunidade.
- Engajar e estimular participação dos estudantes em questões que envolvam a bioética em sala de aula.
- Divulgar o conhecimento aprendido.

Material e métodos:

- Auditório, sala multimídia, arquibancada, quadra de esportes ou outro espaço escolar em que seja possível a montagem e execução do teatro.

Procedimentos:

- Coordenar todo o processo, desde a elaboração da peça de teatro, à apresentação do júri popular.
- Inspiramos, você professor(a) a convidar alunos de outras salas ou séries, professores, funcionários da escola, pais e demais membros da comunidade escolar para compor a mesa de jurados. Assim, será possível ampliar as discussões sobre o tema e divulgar o conhecimento.



Apoio:



PROFBIO
Mestrado Profissional
em Ensino de Biologia



icbufmg



CAPES