

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE EDUCAÇÃO MATEMÁTICA E CIENTÍFICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DOCÊNCIA EM EDUCAÇÃO EM  
CIÊNCIAS E MATEMÁTICAS – MESTRADO PROFISSIONAL**

**ELSON SILVA DE SOUSA**

**ENSINO-APRENDIZAGEM DE CONTEÚDOS DE BIODIVERSIDADE E GENÉTICA  
COM ÊNFASE EM CIÊNCIA, TECNOLOGIA E SOCIEDADE**

**BELÉM  
2017**

**ELSON SILVA DE SOUSA**

**ENSINO-APRENDIZAGEM DE CONTEÚDOS DE BIODIVERSIDADE E GENÉTICA  
COM ÊNFASE EM CIÊNCIA, TECNOLOGIA E SOCIEDADE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Docência em Educação em Ciências e Matemáticas, do Instituto de Educação Matemática e Científica, da Universidade Federal do Pará, como requisito para obtenção do título de Mestre em Educação em Ciências e Matemáticas.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dra. Ana Cristina Pimentel Carneiro de Almeida.

**BELÉM  
2017**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará  
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

S725e      Sousa, Elson Silva de  
              Ensino-aprendizagem de conteúdos de biodiversidade e genética com ênfase em ciência,  
              tecnologia e sociedade / Elson Silva de Sousa. — 2017  
              147 f. : il. color

              Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Docência em Educação em  
              Ciências e Matemáticas (PPGDOC) , Instituto de Educação Matemática e Científica, Universidade  
              Federal do Pará, Belém, 2017.  
              Orientação: Profa. Dra. Ana Cristina Pimentel Carneiro de Almeida

              1. Ciência - estudo e ensino. 2. Prática de ensino. 3. CTS. 4. Ensino Médio. 5. Educação em  
              ciências. I. Almeida, Ana Cristina Pimentel Carneiro de, *orient.* II. Título

---

CDD 371.102

**ELSON SILVA DE SOUSA**

**ENSINO-APRENDIZAGEM DE CONTEÚDOS DE BIODIVERSIDADE E GENÉTICA  
COM ÊNFASE EM CIÊNCIA, TECNOLOGIA E SOCIEDADE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Docência em Educação em Ciências e Matemáticas, do Instituto de Educação Matemática e Científica, da Universidade Federal do Pará, como requisito para obtenção do título de Mestre em Educação em Ciências e Matemáticas.

Área de concentração: Ensino, Aprendizagem e Formação de Professores para o Ensino de Ciências e Matemáticas.

Linha de Pesquisa: Ensino e Aprendizagem de Ciências e Matemáticas para a Educação Cidadã.

Belém-PA, 15 de dezembro de 2017.

Banca Examinadora:

---

Prof.<sup>a</sup> Dra. Ana Cristina Pimentel Carneiro de Almeida (Orientadora)  
Doutora em Ciências: Desenvolvimento Socioambiental  
Universidade Federal do Pará

---

Prof. Dr. Eduardo Paiva de Pontes Vieira (Membro Interno)  
Doutor em Educação em Ciências e Matemáticas  
Universidade Federal do Pará

---

Prof. Dr. Licurgo Peixoto Brito (Membro Interno)  
Doutor em Geofísica  
Universidade Federal do Pará

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Sinaida Maria Vasconcelos (Membro Externo)  
Doutora em Educação  
Universidade do Estado do Pará

*Para Miguel, meu primogênito, que nasceu no percurso da escrita deste trabalho e possibilitou-me vivenciar o mundo de outra maneira, com o olhar de Pai. Suas risadas trazem muitas alegrias.*

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Programa de Pós-Graduação em Docência em Educação em Ciências e Matemáticas – PPGDOC, vinculado ao Instituto de Educação Matemática Científica – IEMCI da Universidade Federal do Pará – UFPA, nas pessoas dos coordenadores, Professora Terezinha Valim e Professor Jesus Brabo, por me possibilitar caminhos para o crescimento pessoal e profissional, além de contribuir significativamente para a minha formação na condição de professor pesquisador.

À Professora Ana Cristina, por acreditar no meu potencial e ter depositado sua confiança em mim. Suas orientações e revisões na condução deste trabalho foram essenciais.

Aos professores do Mestrado Profissional, por compartilharem conhecimentos e contribuírem na ampliação da compreensão que eu tinha sobre a Educação em Ciências antes de chegar à pós-graduação, em especial àqueles de quem tive o prazer de sorver o saber e experiências nas aulas e fóruns do mestrado, dentre as quais cito as professoras France Fraiha, Ariadne Contente, Isabel Lucena, Maria Gemaque.

Ao Grupo de Estudos em Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente – GECTSA/IEMCI/UFPA, por fornecer alguns insights a respeito da abordagem Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS).

Ao Departamento de Educação Profissional e à Coordenadoria do Curso de Licenciatura em Biologia, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão – IFMA Campus Buriticupu, pela atenção quando eu necessitei me afastar do trabalho para cumprir os créditos do mestrado.

Aos estudantes do terceiro ano, do Curso Técnico em Meio Ambiente Integrado ao Ensino Médio, do IFMA Campus Buriticupu, por aceitarem participar dos encontros de aplicação do objeto de estudo da pesquisa – uma sequência didática.

Aos colegas e amigos do mestrado, por compartilharmos momentos intensos de reflexão, discussão e descontração, fora e dentro das salas de aulas, influenciando o momento da escrita, particularmente à Cleide Renata, Denize Martins, Márcia Pantoja e Ronivaldo Pacheco.

Ao Professor Vilson de Almeida, um amigo particular e apoiador desde que nos conhecemos e à sua digníssima esposa, Professora Edilene Freitas, a quem agradeço porque, ainda no período do processo de seleção para o mestrado, revisou o projeto inicial e sempre tem me incentivado a persistir.

Aos meus pais, Elcione Sousa e Elda Silva e aos meus irmãos Elcione e Ellen Cindy, por me incentivarem sempre a prosseguir nos estudos. Sou muito grato pelo otimismo constante e encorajamento. Sem o amor, orações e apoio de vocês no meu dia a dia, eu não teria chegado até aqui.

Ao meu melhor amigo e filho Miguel, e à minha esposa e parceira de vida, Franh Costa. Eu amo vocês! Franh, seu apoio indefectível, confiança, companheirismo e estímulo em todos os momentos permitiram essa conquista possível. Obrigado por lidar, de forma positiva e tolerante, com as ausências semanais e o tempo dedicado aos estudos e escrita da dissertação, sem nada exigir.

Louvo a Deus, pela infinita graça e bondade, que tem dispensado a mim, por meio de Jesus Cristo, meu Senhor. Ele é o maior mestre que alguém pode conhecer. Sou muito grato a Ele por permitir realizar mais um sonho acadêmico.

*“Não há ensino sem pesquisa e pesquisa sem ensino. Esses que-fazer-se encontram um no corpo do outro. Enquanto ensino, continuo buscando, reprocurando. Ensino porque busco, porque indaguei, porque indago e me indago. Pesquiso para constatar, constatando, intervenho, intervindo educo e me educo. Pesquiso para conhecer o que ainda não conheço e comunicar ou anunciar a novidade.”*

*(Paulo Freire, 1996)*

## RESUMO

No contexto da educação em ciências, o enfoque Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) vem influenciando o desenvolvimento de propostas didáticas e curriculares inovadoras que podem trazer contribuições significativas para a promoção da Alfabetização Científica e Tecnológica (ACT) de indivíduos capazes de atuar na coletividade de forma responsável. Busquei investigar as contribuições do desenvolvimento de uma sequência de ensino com abordagem CTS sobre o ensino-aprendizagem de conteúdos de biodiversidade e genética no ensino médio. Nesta perspectiva, apresento uma pesquisa de abordagem qualitativa, do tipo pesquisa-ação educacional, cuja intervenção didático-pedagógica foi desenvolvida por meio de uma sequência de ensino e de um caderno didático construído, aplicado e analisado neste estudo. Para tal, tomei por base os referenciais teórico-práticos e metodológicos de autores que discutem o ensino de ciências sob a ótica CTS e a proposição de sequência didática, contemplando os conceitos de ACT, currículo com enfoque CTS, tomada de decisão, formação para a cidadania, tipologia de conteúdos conceituais, procedimentais e atitudinais e a dinâmica metodológica conhecida como os três momentos pedagógicos. A implementação da sequência didática ocorreu em condições concretas de sala de aula, tendo como sujeitos participantes dezenove estudantes do terceiro ano do ensino médio de uma escola pública da rede federal de ensino. Como técnicas e instrumentos de produção e coleta de dados, selecionei a observação participante, conversas de grupo, a produção textual dos estudantes e a aplicação de questionários. Na análise dos dados, o fenômeno estudado é interpretado e compreendido, atribuindo-se resultados qualificados de forma intuitiva e sistemática, a fim de avaliar as potencialidades e limitações da proposta de ensino desenvolvida, tanto em termos da qualidade das interações entre aluno-material e aluno-aluno, bem como dos conteúdos conceituais, procedimentais e atitudinais apreendidos pelos estudantes. Os resultados do trabalho investigativo sinalizaram que o desenvolvimento de sequência didática, com abordagem CTS, oportuniza reflexões e discussões necessárias para o desenvolvimento de valores ético-morais, de atitudes comprometidas com a sustentabilidade ecológica e de posições pessoais sobre questões socioambientais, cuja base seja a compreensão de conhecimentos científicos e das relações e interações entre a ciência, a tecnologia e a sociedade.

**Palavras-chave:** CTS. Sequência Didática. Ensino de Genética. Ensino de Biodiversidade.

## ABSTRACT

In the context of science education, the Science, Technology and Society (CTS) approach has been influencing the development of innovative didactic and curricular proposals that can bring significant contributions to the promotion of Scientific and Technological Literacy (STL) of individuals capable of acting with responsibility. I sought to investigate the contributions of the development of a teaching sequence with STS approach on teaching and learning of biodiversity and genetic contents in high school. In this perspective, I present a research with a qualitative approach, of the educational research-action type, whose didactic-pedagogical intervention was developed through a teaching sequence and a didactic notebook constructed, applied and analyzed in this study. To that end, I took as a base the theoretical-practical and methodological references of authors who discuss the teaching of sciences under the STS perspective and the proposition of didactic sequence, contemplating the concepts of STL, curriculum with a STS focus, decision making, training for citizenship, typology of conceptual, procedural and attitudinal contents and the methodological dynamics known as the three pedagogical moments. The implementation of the didactic sequence occurred in real conditions of the classroom, having as participants subjects nineteen students of the third year of high school in a public school of the federal education network. As techniques and instruments of data production, I selected the participant observation, group conversations, the textual production of the students and the application of questionnaires. In the analysis of the data, the studied phenomenon is interpreted and understood, attributing qualified results in an intuitive and systematic way, to evaluate the potentialities and limitations of the developed teaching proposal, both in terms of the quality of the interactions between student-material and students-students, as well as the conceptual, procedural and attitudinal contents seized by the students. The results of the research work indicated that the development of a didactic sequence, with a CTS approach, provides the necessary reflections and discussions for the development of ethical and moral values, attitudes committed to ecological sustainability, and personal positions on social and environmental issues. understanding of scientific knowledge and of the relationships and interactions between science, technology and society.

**Keywords:** STS. Following teaching. Teaching of Genetics. Teaching of Biodiversity.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – A essência da Educação CTS .....	27
Figura 2 – Categorias de Ensino CTS em função da qualidade e quantidade do conteúdo de ciências ou de CTS .....	32
Figura 3 – Sequência para o ensino de ciências CTS.....	33
Figura 4 – Ciclo da Investigação-Ação, segundo Modelo de Whitehead (1989) .....	51
Figura 5 – Distribuição dos 26 Campi do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão .....	53
Figura 6 – Estrutura Conceitual da Sequência Didática com abordagem CTS .....	60
Figura 7 – Organização Geral da Sequência Didática .....	60
Figura 8 – Características educacionais da sequência didática.....	61
Figura 9 – Estudantes realizando pesquisas na internet.....	74
Figura 10 – Exemplo das cartas utilizadas no modelo didático.....	78
Figura 11 – Página inicial do sistema de Código de Barras da Vida.....	83
Figura 12 – Alunos montando a borboleta com base na separação e mistura aleatórias dos cromossomos dos genitores .....	86

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Dissertações que privilegiam intervenção didático-pedagógica com ênfase em CTS e o ensino de genética na educação básica [2010-2016] .....	45
Quadro 2 – Domínios e fases básicas da investigação-ação.....	50
Quadro 3 – Cursos ofertados pelo IFMA Campus Buriticupu.....	54
Quadro 4 – Descrição das Fases e Etapas da Pesquisa .....	55
Quadro 5 – Esquema geral da primeira etapa da sequência didática.....	61
Quadro 6 – Esquema geral da segunda etapa da sequência didática.....	62
Quadro 7 – Esquema geral da terceira etapa da sequência didática.....	63
Quadro 8 – Espécies brasileiras e maranhenses ameaçadas de extinção indicadas aos alunos para a pesquisa na internet .....	72
Quadro 9 – Sumário da herança fictícia de certa espécie de borboleta.....	87

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Conceituações da palavra gene anotadas pelos alunos .....	71
Tabela 2 – Frequência das proposições fornecidas pelos alunos para a atividade...95	
Tabela 3 – Avaliação das atividades do minicurso .....	96
Tabela 4 – Principais motivações espontâneas que levaram os alunos a se inscrever no minicurso .....	97
Tabela 5 – Aspectos mais relevantes do curso segundo a opinião dos alunos.....97	
Tabela 6 – Frequência das razões apontadas pelos alunos para recomendar ou incentivar a participação de outro colega se o curso fosse novamente ofertado.....98	
Tabela 7 – Opinião dos alunos participantes do curso sobre a parte textual dos fascículos.....99	

## LISTA DE ABREVIATURAS SIGLAS

BDTD	Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações
BNCC	Base Nacional Comum Curricular
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CEDOC	Centro de Documentação em Ensino de Ciências
CNCFlora	Centro Nacional de Conservação da Flora
CTS	Ciência, Tecnologia e Sociedade
CTSA	Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente
DDT	Dicloro-Difenil-Tricloroetano
DNA	Ácido desoxirribonucleico
FURB	Universidade Regional de Blumenau
HFC	História e Filosofia da Ciência
ICMBio	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
IESFMA	Instituto de Ensino Superior Franciscano
IFMA	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão
IUCN	União Internacional para a Conservação da Natureza e dos Recursos Naturais
LDB	Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional
MMA	Ministério do Meio Ambiente
OGMs	Organismos Geneticamente Modificados
PCNEM	Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio
PLACTS	Pensamento Latino-Americano de Ciência, Tecnologia e Sociedade
PNC+	Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais
PPGDOC	Programa de Pós-Graduação em Docência em Educação em Ciências e Matemática
PUC-MG	Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
SEDUC/MA	Secretaria de Estado da Educação do Maranhão
TIC	Tecnologia da Informação e Comunicação
UEMA	Universidade Estadual do Maranhão
UESB	Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
UFPA	Universidade Federal do Pará
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura
UNIASSELVI	Centro Universitário Leonardo da Vinci

## SUMÁRIO

<b>APRESENTAÇÃO AO LEITOR .....</b>	<b>15</b>
<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>20</b>
<b>1 CIÊNCIA, TECNOLOGIA E SOCIEDADE (CTS) E AS POSSIBILIDADES AO ENSINO DE BIODIVERSIDADE E GENÉTICA .....</b>	<b>24</b>
1.1 CIÊNCIA, TECNOLOGIA E SOCIEDADE (CTS) E O CONTEXTO EDUCACIONAL .....	24
1.2 DOCUMENTOS CURRICULARES OFICIAIS PARA O ENSINO DE BIOLOGIA..	34
1.3 EXPLORANDO O CONCEITO DE BIODIVERSIDADE .....	40
1.4 ENSINO DE GENÉTICA NAS PESQUISAS BRASILEIRAS E A ABORDAGEM CTS .....	43
<b>2 UM PERCURSO TEÓRICO-METODOLÓGICO NA PRÁXIS DE PESQUISA.....</b>	<b>49</b>
2.1 TIPOLOGIA DO ESTUDO .....	49
2.2 LOCAL DE ESTUDO .....	52
2.3 CARACTERIZAÇÃO DOS PARTICIPANTES DA PESQUISA.....	54
2.4 FASES E ETAPAS DA PESQUISA .....	55
2.4.1 Levantamento, leituras e análises de material bibliográfico e da prática teórico-metodológica .....	56
2.4.2 O planejamento da sequência didática e a produção do caderno didático .....	56
2.4.3 Contatos iniciais e divulgação do minicurso .....	64
2.4.4 Intervenção didático-pedagógica e produção de dados .....	64
2.4.5 Análise dos dados produzidos durante a pesquisa-ação .....	65
<b>3 DESCRIÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO GERAL DOS RESULTADOS .....</b>	<b>67</b>
3.1 A PERDA DA BIODIVERSIDADE GENÉTICA E A EXTINÇÃO DAS ESPÉCIES .	68
3.1.1 Espécies brasileiras e maranhenses ameaçadas de extinção .....	72
3.1.2 Escrita de uma carta abordando uma questão ambiental .....	76
3.2 O PROGRESSO TECNOLÓGICO E SUA RELAÇÃO COM A DIVERSIDADE GENÉTICA .....	77
3.2.1 O quebra-cabeça da hélice de DNA: um modelo didático.....	78
3.2.2 A resolução de um suposto crime ambiental e a genética .....	82

3.3 AS FONTES DA BIODIVERSIDADE SOB O FOCO DA GENÉTICA MOLECULAR .....	85
3.3.1 Um simulador didático para auxiliar o ensino da biodiversidade genética .....	85
3.3.2 Caso Angelina Jolie .....	91
3.3.3 A tomada de decisão sobre uma questão socioambiental .....	93
3.4 AVALIAÇÃO GERAL DO MINICURSO PELOS PARTICIPANTES.....	96
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>100</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>104</b>
<b>APÊNDICE A – TERMO DE AUTORIZAÇÃO DA ESCOLA.....</b>	<b>112</b>
<b>APÊNDICE B – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO.....</b>	<b>113</b>
<b>APÊNDICE C – QUESTIONÁRIO AOS PARTICIPANTES DO MINICURSO.....</b>	<b>115</b>
<b>APÊNDICE D – CADERNO DIDÁTICO .....</b>	<b>117</b>

## APRESENTAÇÃO AO LEITOR

A complexidade da profissão docente pode ser compreendida por meio *do se dizer e do se contar*. É que quando se diz e se conta a docência, não apenas como simples reprodução dos fatos e acontecimentos, surge a oportunidade para se pensar sobre o que se disse e o que se contou, dessa forma, torna-se possível refletir sobre ações concretas, memoráveis, e experiências passadas (NÓVOA, 1995).

Nessa perspectiva, busco, nesta breve (auto) apresentação, explicitar as motivações para a realização da presente pesquisa, contextualizando circunstâncias passadas com o olhar do presente na perspectiva de registrar, de forma reflexiva, os caminhos que delinearão a formação e constituição da identidade do sujeito professor que sou hoje e que influenciaram na concepção desta pesquisa inserida no campo do ensino de ciências.

As disciplinas científicas escolares sempre me fascinaram. Como os bebês são gerados? Porque as plantas precisam de sol para sobreviver? Porque o céu é azul? De que forma as vacinas conseguem proteger as pessoas de doenças? Eram algumas das questões que eu achava interessantes ou importantes, pois envolvem o saber sobre o mundo que me rodeia, principalmente, o mundo vivo.

Foi então que, no último ano do ensino médio, em 2006, recebi inesperadamente um convite para trabalhar como professor de Ciências numa escola particular cuja proprietária era diretora e minha professora de Sociologia.

Confesso que, naquele momento, não estava conscientemente interessado em profissionalizar-me no magistério e não encarava o trabalho como o início de uma carreira profissional na educação. Todavia, percebia uma oportunidade de promoção pessoal e preparo para o futuro ingresso no ensino superior.

Eu imaginava que passaria um ou dois anos ministrando aulas de Ciências. Nos primeiros anos, ensinava de forma semelhante às experiências que tive como estudante das ciências, procurava espelhar-me nos bons professores da educação básica.

Inicialmente, pensava a ciência como um corpo estático de conhecimento que deve ser memorizado pelos alunos ou experimentado pela repetição de atividades e experimentos predeterminados com resultados já conhecidos.

Enquanto aguardava uma nova oportunidade para prestar vestibular para o curso de enfermagem, iniciei, de forma repentina e sem decidir concretamente, o

curso de licenciatura em Ciências Biológicas, em 2007, pelo Centro Universitário Leonardo da Vinci (UNIASSELVI), na modalidade semipresencial, com encontros semanais no polo localizado em Santa Luzia, MA, a cento e vinte quilômetros de onde, até hoje resido, Buriticupu, MA.

No início do curso, a História da Educação, a Filosofia Geral e da Educação, a Psicologia da Aprendizagem não me despertavam muito interesse, diferente do entusiasmo e emoções presentes no desenvolvimento das disciplinas específicas da área da Biologia.

A ideia de ser professor enquanto profissão ganhou força durante as disciplinas de Estágio, ocorridas a partir do quarto semestre do curso. Cada vez mais, eu reconhecia a complexidade envolvida na formação de “um professor de ciências” e as disciplinas ditas pedagógicas traziam nexos, coerência com o fazer docente que já estava a praticar há algum tempo.

Com o passar dos dias, já não era mais tão fácil separar a vida pessoal da profissional que estava em pleno desenvolvimento e que somente me dei conta após estar inserido no meio.

Nesse sentido, Nóvoa (1995) afirma que “[...] o professor é a pessoa, e [...] a pessoa é o professor. [...] é impossível separar as dimensões pessoais e profissionais. [...] ensinamos aquilo que somos e [...] naquilo que somos, se encontra muito daquilo que ensinamos”.

No período em que escrevia o trabalho de conclusão do curso de graduação em Ciências Biológicas, intitulado *A Reforma no Ensino Médio no Brasil*, realizei inscrição no concurso público da Secretaria de Estado da Educação do Maranhão (SEDUC/MA). O resultado alcançado na primeira classificação permitiu que logo assumisse o cargo de professor de Biologia em 2010. Em seguida, também fui aprovado no concurso público para o cargo de professor de Biologia no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão.

Essas conquistas levaram-me a assumir conscientemente o meu trabalho e papel como professor de Biologia. Estava agora diante de uma nova situação, diferente daquela vivenciada por um tempo como professor de ciências no ensino fundamental, mesmo sem ter formação acadêmica mínima legal para sê-lo.

Movia-me o desejo de que meus alunos gostassem das aulas de Biologia e fossem bem-sucedidos nas provas e avaliação nacionais. Então, dedicava-me a

ensinar um maior número de conteúdos enciclopedistas – cobrir o currículo do ensino médio – quase que puramente por meio de aulas expositivas.

Apesar de ser considerado pelos alunos como um bom professor de Biologia, e de muitos declararem a Biologia como uma das disciplinas favoritas, ainda assim, não me sentia “o bom professor” que desejava ser (até hoje não o sinto).

Embora o curso de licenciatura tivesse o objetivo de nos preparar para o magistério, a sensação de incompletude e turbilhão de frustrações e questionamentos na docência tomavam-me corriqueiramente.

O que ensinar? Por que ensinar? Como ensinar? Por que os resultados escolares dos alunos não correspondem às expectativas esperadas? Que sentidos e importância há em ensinar biologia na vida dos alunos? Quais estratégias podem facilitar o ensino-aprendizagem? De que forma, o professor pode despertar o interesse do aluno pelos estudos? etc.

Cada vez mais, convencia-me da falta de reflexão didático-pedagógica negligenciada por diferentes momentos durante o curso de licenciatura e compreendia que ensinar vai muito mais além do que “passar a matéria”. Neste ponto da carreira, decidi que o sentimento de incompletude poderia ser minimizado aprendendo mais sobre o ensino, então decidi cursar a pós-graduação em Metodologia de Ensino de Ciências Biológicas (UNIASSELVI), na expectativa de desenvolver saberes e fazeres didáticos para aperfeiçoar minhas práticas pedagógicas enquanto professor.

Nesse curso de especialização, tive contatos explícitos com temáticas importantes para o ensino de ciências como a abordagem Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) no ensino de ciências, Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs), História e Filosofia da Ciência (HFC), Bioética, dentre outras.

Das temáticas estudadas e conhecidas, a que mais me chamou à atenção foi a abordagem CTS, porque apontava para uma reestruturação curricular em que os alunos pudessem relacionar o conteúdo e os conceitos das aulas de ciências com as suas experiências pessoais. Além de estimular a compressão dos alunos sobre as implicações – sociais, éticas, políticas – das escolhas que envolvem o uso da ciência ou da tecnologia e colaboram para a formação de cidadãos responsáveis com o mundo e cientificamente alfabetizados.

Com base na compreensão singela desta abordagem de ensino, passei a repensar algumas das atividades em sala de aula para enfatizar as relações entre o conteúdo e a vida dos alunos.

Intuitivamente, dei-me conta de que esse tipo de atividade era mais motivador do que aquelas atividades mais tradicionais. Além disso, os alunos ficavam mais atentos ao novo estilo de atividade e participavam mais das discussões durante as aulas, em consequência, obtinham melhores desempenhos escolares.

No entanto, as mudanças pontuais no estilo de ensino compreenderam apenas adições suplementares às minhas aulas em oposição a uma mudança fundamental na maneira de ver como o ensino de Biologia poderia ser diferente.

Posteriormente, cursei as especializações em Gestão Interdisciplinar do Meio Ambiente e Educação Ambiental (IESFMA) e a especialização em Ensino de Genética (UEMA), as quais me possibilitaram compreender com mais profundidade aspectos históricos, sociais, políticos de conteúdos científicos e tecnológicos relacionados à biotecnologia, biodiversidade e genética.

Nesses cursos de especialização, fomos desafiados a vislumbrar outras maneiras de ver o ensino de ciências por meio da pesquisa em sala de aula, do desenvolvimento de conteúdos atualizados para o ensino médio, da reflexão sobre a aprendizagem dos alunos e da discussão de questões éticas vinculadas ao progresso científico-tecnológico, entre outros assuntos pertinentes à educação científica.

As informações e conhecimentos mobilizados durante esses cursos de especialização, a práxis docente experimentada em níveis de ensino fundamental, em escola privada, e ensino médio, técnico e superior em escolas públicas estadual e federal, trouxeram novos anseios e muito trabalho que permitiram a tomada de consciência da necessidade de aprimorar e avançar na minha profissionalização docente mediante a formação *stricto sensu*.

Foi então que consegui, após segunda tentativa, ser selecionado para cursar o Mestrado Profissional em Ensino de Ciências e Matemáticas da Universidade Federal do Pará (UFPA).

Durante todo o mestrado, apesar da distância semanalmente percorrida de mais de mil e quatrocentos quilômetros, continuei exercendo a docência em sala de aula, bem como outras atividades correlatas à profissão, tal fato, me possibilitou não perder a conexão com os meus alunos e a sala de aula, proporcionando simultaneamente, continuar estudando, continuar aprendendo e continuar ensinando.

Ao passo do mestrado, continuo investigando ideias associadas ao ensino de ciências com abordagem CTS, por meio da leitura e discussão de textos que abordam

diversas maneiras de interpretar e incorporar essa abordagem nas atividades da sala de aula e o sucesso de usar essa abordagem nas escolas.

Quando chegou o momento de projetar a pesquisa do mestrado, já estava decidido a investigar sobre o ensino de biodiversidade e genética com abordagem CTS, temáticas que marcaram e continuam direcionando minha formação acadêmico-profissional.

Diante disso, fiz a escolha de trilhar numa pesquisa que colaborasse para o desenvolvimento da própria prática profissional e que, concomitantemente, contribuísse para a melhoria de processos de ensino-aprendizagem nos quais, diretamente, estou incluído como professor de Biologia, numa perspectiva de um ensino de ciências mais contextualizado, crítico, interdisciplinar e significativo.

## INTRODUÇÃO

A presente dissertação focaliza o ensino-aprendizagem de conteúdos de biodiversidade e genética no ensino médio e a abordagem CTS como perspectiva metodológica. É resultado das reflexões e constatações da própria prática docente sobre o ensino-aprendizagem das ciências da natureza, enquanto professor de Biologia na educação básica e superior.

O modelo tradicional de ensino que se baseia na transmissão mecanizada, por meio da conservadora exposição dos conteúdos das disciplinas e, na grande maioria das vezes, da utilização exclusiva do livro didático, não atende mais aos anseios da sociedade moderna.

Dessa forma, têm sido propostos novos modelos educacionais que visam à participação mais ativa dos alunos na construção do seu conhecimento sob a orientação e mediação do professor, possibilitando ao educando o seu desenvolvimento e capacitando-o para a reflexão das diversas relações sociais e para a tomada de decisões conscientes diante da sociedade.

A experiência pessoal como docente tem evidenciado os desafios enfrentados no sentido de superar o conhecimento intuitivo, o senso comum e as concepções prévias acríticas dos alunos sobre as tecnologias relacionadas à biodiversidade ou questões genéticas, incorporadas e influenciadas pelos meios de comunicação em massa.

Os conhecimentos associados à biodiversidade são ensinados, prioritariamente, nos níveis de ecossistemas e de espécies e, raramente, contempla a biodiversidade genética. Assim, o ensino de biodiversidade no ensino médio, frequentemente, concentra-se na caracterização taxonômica e morfológica essencialista da diversidade de organismos ou de biomas em detrimento de outros contextos tão importantes quanto como os contextos evolutivo e molecular (OROZCO, 2017; SILVA; MACIEL, 2016; CARDOSO-SILVA, OLIVEIRA, 2013).

Por outro lado, a abordagem dos conteúdos curriculares em genética frequentemente é superficial e, geralmente, deficiente na construção de conhecimentos pautados na contextualização social do conhecimento e dos fenômenos estudados ou dirigidos por questões interdisciplinares que relacionem o problema investigado com o problema social, tecnológico ou ambos (PEIXE et al., 2017; BELMIRO; BARROS, 2017).

Além disso, a abordagem, também, é fragmentada, sem contextualização sócio-histórica ou tecnológica e, raramente, estimula ou estabelece conexões significativas com os conhecimentos prévios e o cotidiano dos alunos, quando não, essas relações se dão apenas em boxes restritos, tornando assim o ensino desestimulante.

Em consequência disso, diversos trabalhos: Justina; Rippel (2003); Paiva; Martins (2005); Goldbach et al. (2009); Temp (2014); Cardoso-Silva, Oliveira (2013); Grandi et al. (2014); Motokane; Kawasaki; Oliveira (2010), têm apontado que concluintes do ensino médio apresentam várias concepções errôneas sob o ponto de vista científico, tecnológico e social sobre concepções na área de genética e biodiversidade.

Nesse contexto, o ensino-aprendizagem de conteúdos relacionados à biodiversidade e a genética deve envolver não somente os aspectos biológicos, mas também aspectos históricos, morais, éticos, econômicos, políticos e sociais. Logo, a subárea da Biologia em foco, que está em grande evidência atualmente, devido aos avanços da área e às implicações éticas e tecnológicas advindas, é um assunto que explicitamente aborda temas vinculados diretamente à perspectiva da abordagem CTS e que geralmente são desconsiderados nos processos didáticos tradicionais.

Em face do exposto, é importante estimular a construção e/ou ampliação de estratégias no ensino em Ciências, tendo em vista a produção de materiais didáticos alternativos que propiciem ambientes favoráveis para a formação cidadã do educando.

É nesse sentido que, na presente pesquisa de mestrado profissional em ensino, aspiro apresentar uma investigação com base nos resultados da experiência de participar de forma direta e ativa do processo de planejamento e implementação de uma sequência didática, em condições reais de sala de aula, com a utilização experimental de um caderno didático.

Os principais motivos que justificam o desenvolvimento deste trabalho são:

i) o interesse acadêmico-profissional do pesquisador em aprofundar os estudos sobre conceitos teóricos e prático-metodológicos para o ensino de conteúdos de biodiversidade e genética e, sobretudo, a pretensão de contribuir para a formação cidadã de estudantes da educação básica, fortalecendo o respeito pela vida e pelo ambiente;

ii) a necessidade de implementação de novas propostas no Ensino de Biologia que busquem vencer o modelo de ensino tradicional e descontextualizado e que aponte novos caminhos para se ensinar Ciências;

iii) a consideração de que o ensino de biodiversidade e genética é fundamental para a formação do educando ao contemplar discussões interdisciplinares de assuntos científicos e tecnológicos socialmente relevantes na sociedade moderna. Discussões estas que estimulem o aluno a refletir criticamente sobre questões do seu dia a dia e sobre temas de interesse social e que possibilitem a ele utilizar saberes conceituais, procedimentais e axiológicos para refletir e se posicionar frente a questões atuais e polêmicas, por exemplo, a perda da biodiversidade genética; e, por fim,

iv) a constatação, por meio do levantamento de pesquisas acadêmicas que abordam concomitantemente a genética no ensino médio e o ensino CTS, de que as experiências didáticas vivenciadas em sala de aula no ensino de conteúdos de genética articulado a conexões diferentes da Genética Humana<sup>1</sup> são escassas. Assim, impera a necessidade da realização de um maior número de investigações sistemáticas de experiências que abordem relações concretas do ensino de genética com abordagem CTS integrado a outros campos, no caso desta pesquisa, a Biodiversidade – Ecologia.

Dessa forma, as seguintes **questões de pesquisa** norteiam o presente estudo: Em que termos a abordagem CTS constitui-se como possibilidade de estratégia para o ensino-aprendizagem de conteúdos de biodiversidade e genética molecular, bem como, para a formação cidadã de estudantes de ensino médio? De que maneira o desenvolvimento de uma sequência didática com ênfase na interação ciência, tecnologia e sociedade pode contribuir como estratégia didática inovadora para o processo de ensino-aprendizagem de conteúdos de biologia?

O **objetivo geral** da pesquisa foi investigar as contribuições da abordagem CTS no desenvolvimento de uma sequência de ensino sobre o ensino-aprendizagem de conteúdos de biodiversidade e genética no ensino médio.

---

<sup>1</sup> São exemplos: Projeto Genoma Humano, testes de DNA para confirmação de paternidade/maternidade ou de um criminoso suspeito, doenças humanas e terapias gênicas, consequências do consumo de alimentos transgênicos, células-tronco humanas, sistemas ABO e RH, e outros.

Os **objetivos específicos** foram assim definidos: i) elaborar uma sequência didática, com abordagem CTS, para o ensino-aprendizagem de conteúdos de biodiversidade e genética molecular; ii) implementar junto a estudantes de ensino médio a sequência de ensino planejada com a utilização experimental de um caderno didático; iii) analisar as potencialidades e limitações da intervenção didática tanto em relação ao ensino quanto à aprendizagem dos conhecimentos contemplados pela sequência de ensino, com base na abordagem CTS.

O desenvolvimento da dissertação está organizado em três capítulos. No primeiro capítulo, apresento uma revisão da literatura sobre Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) e uma síntese do ensino de Biologia no ensino médio a partir de documentos curriculares oficiais e de pesquisas acadêmico-científicas. No segundo capítulo, descrevo as etapas e os aspectos metodológicos empregados na pesquisa, a sequência didática planejada e o caderno didático idealizado. No quarto capítulo, apresento os resultados e discussão da intervenção didático-pedagógica com a implementação da proposta de ensino.

Em sequência, exponho as considerações finais da pesquisa, reafirmando as contribuições da abordagem CTS para o ensino-aprendizagem de disciplinas científicas, tendo em vista a formação para o exercício da cidadania.

Finalmente, vale mencionar que há outras possibilidades e maneiras de se fazer a apresentação das seções e que, talvez, ao final da leitura, pode o leitor considerar que uma ou outra seção demonstre cuidado de incluir informações adicionais e/ou expandidas passíveis de ser dispensáveis.

## 1 CIÊNCIA, TECNOLOGIA E SOCIEDADE (CTS) E AS POSSIBILIDADES AO ENSINO DE BIODIVERSIDADE E GENÉTICA

Neste capítulo, apresento uma revisão da literatura, como ponto de partida deste estudo, visando à apreensão de uma parte dos conceitos-chave da tríade Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS).

Primeiramente, narro a origem do movimento CTS, suas vertentes e repercussões, bem como o seu alcance no campo da educação, expondo os objetivos e a necessidade do enfoque CTS no contexto educacional e dissertando sobre orientações para o planejamento de propostas didáticas e estratégias CTS.

Em seguida, realizo uma visita aos documentos curriculares oficiais buscando inspirar, nortear e apoiar o processo de criação da sequência didática, além de conhecer investigações realizadas a respeito da temática enfocada.

### 1.1 CIÊNCIA, TECNOLOGIA E SOCIEDADE (CTS) E O CONTEXTO EDUCACIONAL

A criação da sigla CTS é creditada ao físico teórico e epistemólogo John Michael Ziman que, no seu livro *Teaching and learning about science and society (Ensino e aprendizagem sobre ciência e sociedade)*, publicado em 1980, defendeu a inserção de discussões das relações CTS nos cursos de ciências das escolas primárias e secundárias (YAGER, 1996).

Ziman (1980) definiu a ciência como uma instituição social e se posicionou contrariamente à ideia de um ensino de ciências ortodoxo que difunde um cientificismo positivista ingênuo e uma tecnocracia autoritária. Assim, apontou para possibilidades e implicações de uma educação científica que pudesse preparar adequadamente os alunos para atuarem de forma responsável em uma sociedade afetada permanentemente pela ciência e pela tecnologia.

No entanto, as discussões sobre as interações entre a tríade CTS, no contexto internacional, emergiram ainda nos anos 60 quando o modelo tradicional linear de progresso<sup>2</sup>, o cientificismo e as consequências da tecnologia produzida pela ciência passaram a ser fortemente questionados por diferentes atores sociais que

---

<sup>2</sup> Modelo Tradicional/Linear de Progresso), segundo o qual, o desenvolvimento científico (DC) gera desenvolvimento tecnológico (DT); este gera o desenvolvimento econômico (DE) que determina, por sua vez, o desenvolvimento social (DS – bem-estar social). Nesse modelo, são aceitáveis somente as decisões tecnocráticas sem a possibilidade de participação social (GONZÁLEZ GARCÍA, M. I.; LÓPEZ CERREZO, J. A.; LUJÁN LÓPEZ, 1996).

reivindicavam participação na tomada de decisões sobre a atividade científico-tecnológica (AULER, 2002; ACEVEDO DÍAZ, 1995).

As obras publicadas em 1962 por Thomas Kuhn, *A Estrutura das Revoluções Científicas*, e Rachel Carson, *Primavera Silenciosa*, tiveram papel importante na origem do movimento CTS e influenciaram o debate sobre o papel da ciência e tecnologia na sociedade (AULER, 2002).

As origens do movimento CTS na Europa, de tradição mais acadêmica com foco nas ciências sociais; e, na América do Norte, centrada nas consequências ambientais e sociais dos produtos tecnológicos, foram influenciadas, respectivamente, por essas duas obras, já que Kuhn contestou a concepção tradicional e positivista da ciência, enquanto Carson denunciou a degradação ambiental e os impactos sociais em consequência da utilização de um produto técnico, o DDT – dicloro-difenil-tricloroetano (LÓPEZ CERREZO, 1998).

Embora a tradição europeia (*Science and Technology Studies* – STS) e a norte americana (*Science, Technology and Society* – STS) tenham divergências de pensamentos, quer na ênfase dos estudos e pesquisas, quer em suas próprias constituições organizacionais, é possível apontar pontos de convergência entre essas duas tradições. São eles:

- 1) Rejeição da imagem da Ciência como atividade pura;
- 2) Crítica à concepção da Tecnologia como Ciência Aplicada e neutra;
- 3) Oposição à tecnocracia<sup>3</sup> (LÓPEZ CERREZO, 1998, p. 46).

Na América Latina, o surgimento do movimento CTS, ocorreu com um enfoque diferente ao encontrado nas tradições europeia e norte americana. O desenvolvimento dos estudos CTS, na América Latina, aflorou no final dos anos 1960 voltados à discussão estrutural da Ciência e da Tecnologia como uma competência da política estatal e à refutação da transferência técnico-científica, de forma acrítica e descontextualizada, dos países industrializados para os menos desenvolvidos e dependentes. Devido a sua constituição autônoma, o movimento CTS na América Latina tem sido denominado na literatura como *Pensamento Latino-Americano de Ciência, Tecnologia e Sociedade* – PLACTS (VACCAREZZA, 2011).

---

<sup>3</sup> A tecnocracia defende a posição de poder que os especialistas possuem por deter conhecimentos científicos e tecnológicos para tomar decisões que possam afetar direta ou indiretamente a sociedade. Dessa forma, a tecnocracia se opõe à promoção da participação pública na tomada de decisões.

O movimento CTS no Brasil só ganhou força a partir dos anos 90 quando se pôde observar um crescimento na publicação nacional de textos que discutem a temática, predominantemente, no campo do ensino de ciência e tecnologia (CHRISPINO et al., 2013).

Os estudos e programas CTS têm sido produzidos, desde o princípio, em três principais direções: **no campo da investigação**, orientados para promover uma visão da atividade científica mais contextualizada; **no campo das políticas públicas**, focalizados em defender a regulação pública e a tomada democrática de decisões em questões relacionadas à Ciência e Tecnologia (CT); e **no campo educacional** com forte tendência em propostas de delineamento de programas e materiais CTS<sup>4</sup> (LÓPEZ CERREZO, 1998).

No campo educacional, diversas pesquisas têm defendido o enfoque Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS) com posição de destaque nas bases teórico-metodológicas das produções científicas da área da educação em ciências, dentre as quais, Lemgruber (1999), Cachapuz et al. (2008), Truccolo; Von Dentz (2010), Strieder (2008, 2012), Abreu; Fernandes; Martins (2013), Corrêa; Araújo (2015).

Esses e outros autores concordam que o enfoque CTS aponta para uma mudança estrutural nos currículos de ciências na medida ao propor outra maneira de organizar os currículos. Nesta o conteúdo específico da ciência é ensinado junto com questões sociais ou tecnológicas, considerando as relações existentes entre ciência, tecnologia e sociedade (BAZZO; VON LINSINGEN; PEREIRA, 2003; AULER; DELIZOICOV, 2001).

Assim, o enfoque CTS busca romper com o ensino tradicional cuja base metodológica é a transmissão mecanizada e descontextualizada do conhecimento acumulado pela humanidade, num processo de recepção passiva. Esse rompimento tem como escopo basilar apresentar a ciência no contexto das questões sociais e/ou questões tecnológicas relevantes, inter-relacionadas com as experiências cotidianas dos estudantes que, por sua vez, tomam posição de centralidade do processo

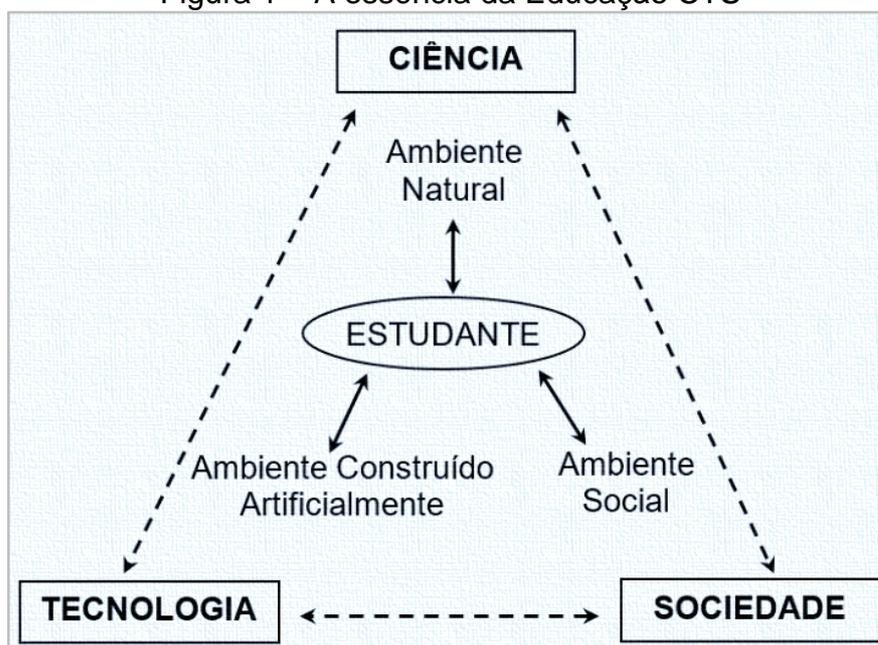
---

<sup>4</sup> Vale destacar que, no que tange à nomenclatura, há ocorrência da utilização de uma multiplicidade de acrônimos vinculados ao CTS, como bem discutida na tese defendida na USP por Strieder, em 2012, intitulada *Abordagens CTS na educação científica no Brasil: sentidos e perspectivas*. Dentre essas designações, ressalto a expressão CTSA com objetivos de destacar de forma explícita as questões ambientais. Contudo, entendendo que as questões ambientais também possam estar incluídas na concepção CTS e que a concepção de ambiente na área da biologia necessariamente está relacionada à concepção de ciência e sociedade, é que optei por utilizar normativamente, neste trabalho, a sigla CTS.

educativo e de sujeitos ativos da sua própria formação (PINHEIRO; SILVEIRA; BAZZO, 2007).

A essência da Educação CTS, referido por Aikenhead (1994), é fundamentalmente orientado ao estudante, tal como é evidenciado no esquema da figura 1.

Figura 1 – A essência da Educação CTS



Fonte: Traduzido de Aikenhead (1994).

Na educação CTS, os estudantes são encorajados a compreender suas experiências e o contexto onde estão inseridos, quer seja localmente ou globalmente. Porém, para fazerem isso, os estudantes não são estimulados a se abstraírem do ambiente natural, artificialmente construído e do social, mas sim de os integrarem, por meio de sua compreensão individual (AIKENHEAD, 1994).

De acordo com Aikenhead (1994, p. 48), “o estudo do mundo natural nós chamamos Ciência. O estudo do mundo artificialmente construído é Tecnologia. E Sociedade é o meio social”. Portanto, ensinar Ciência por meio de CTS compreende ensinar sobre fenômenos naturais de tal maneira a envolver a Ciência nos ambientes social e tecnológico dos alunos.

A inserção do enfoque CTS no contexto educacional, tanto na educação básica quanto no ensino superior, é defendida por diversos autores, dentre os quais, destaco Santos e Mortimer (2001, 2002, 2009); Vieira e Vieira (2005); Pinheiro; Silveira; Bazzo (2007); Auler e Bazzo (2001); Vannucchi (2012), Nunes (2014). Esses autores

ponderam, em comum, que o ensino de ciências, na perspectiva CTS, favorece a formação de cidadãos que saibam expressar suas opiniões e ideias com argumentos fundamentados e assim possam participar da tomada de decisões frente às discussões presentes na sociedade.

O ensino CTS busca promover nos estudantes a competência para compreender que ciência e tecnologia são produtos dos esforços humanos, podendo tanto influenciar a sociedade como serem influenciados por ela. E, a partir dessa compreensão, possam mobilizar os conhecimentos apreendidos na escola para tomar posicionamento e decidir de forma crítica questões científicas e tecnológicas (STRIEDER, 2008; AULER; DELIZOICOV, 2001; AULER, 2008).

Na literatura acadêmica, os seguintes objetivos do ensino de ciências com abordagem CTS são encontrados:

- I. Elevar a alfabetização científica dos cidadãos, estimular o interesse pelas interações entre ciência, tecnologia e sociedade e ajudar os alunos para a tomada de decisões responsáveis (SOLOMON, 1993, p. 51).
- II. Desenvolver a capacidade de participação crítica dos cidadãos na resolução de problemas científicos e tecnológicos de interesse social. (AIKENHEAD, 1994).
- III. Formar cidadãos melhor informados ou alfabetizados em ciência e tecnologia, críticos em relação ao desenvolvimento científico-tecnológico, capazes de tomar decisões e lidar com as implicações sociais deste (STRIEDER, 2008, p. 40).
- IV. [...] desenvolver a alfabetização científica e tecnológica dos cidadãos, auxiliando o aluno a construir conhecimentos, habilidades e valores necessários para tomar decisões responsáveis sobre questões de ciência e tecnologia na sociedade e atuar na solução de tais questões (SANTOS; MORTIMER, 2002, p. 114).

Em suma, é possível depreender dos objetivos enumerados acima que o objetivo central do ensino CTS é alcançar a alfabetização científica e tecnológica (ACT) dos cidadãos, entendida por Geraz Fourez (2005) como uma abordagem epistemológica e pedagógica. Este mesmo autor afirma que a agitação em torno dos rótulos ACT e CTS decorre da necessidade de renovação do ensino de ciências considerado por muitos alunos irrelevante.

Apesar da estreita aproximação entre o ensino CTS e a Alfabetização C&T, tanto é que, por vezes, as expressões são utilizadas como sinônimos, Fourez (2005) procura distinguir essas abordagens sob os pontos de vistas da amplitude e da criticidade ligada à interação CTS.

Em certos meios se fala menos de ACT que do movimento “Ciência, Tecnologia e Sociedade” (CTS). Às vezes a realidade designada é a mesma, mas a eleição das palavras aporta matizes. CTS traz à consciência um problema que não era considerado como tal há meio século: os vínculos que os polos designam. Enquanto que ao falar de uma ACT (como da promoção de uma cultura científica e tecnológica) não questiona o lugar das ciências e das tecnologias na sociedade, o movimento CTS o faz, ao menos implicitamente (FOUREZ, 2005, p. 18).

Assim, o movimento CTS é mais amplo que a abordagem ACT e, dessa forma, abrange outros espaços diferentes do educacional. Por outro lado, a Alfabetização C&T é mais focalizada para o ensino das ciências. Ademais, importa ao movimento CTS problematizar as influências recíprocas entre a ciência, tecnologia e sociedade, enquanto à ACT interessa promover a autonomia do indivíduo, estabelecer as bases cultural, social, ético e teórico para a comunicação com os outros e capacitá-lo para gerir o ambiente (FOUREZ, 2005).

Ainda sobre a ACT, é importante sinalizar que a Associação Nacional de Professores de Ciências (NSTA), organização envolvida fortemente com a educação de cidadãos científico e tecnologicamente alfabetizados, elaborou uma declaração de posição com dezesseis habilidades em que os estudantes deveriam ser capazes de compreender e fazer em ciência e tecnologia no contexto de questões sociais e pessoais, dentre as quais se destacam as seguintes:

[...] conhecer os principais conceitos, hipóteses e teorias da ciência e ser capaz de usá-los; [...] compreender que a ciência e a tecnologia são produtos da criatividade e imaginação humana, sujeita a verificação e testes rigorosos; [...] reconhecer que o saber científico está sujeito a alterações conforme evidência se acumula, ou quando o resultado antigo é reavaliado; [...] compreender como a sociedade influencia a ciência e a tecnologia, bem como estas determinam a sociedade; [...] ser capaz de analisar soluções alternativas quando se consideram decisões que envolvem prioridades concorrentes; [...] reconhecer que muitas das decisões que tomamos são de natureza global e que pessoas em outras partes do mundo são afetadas pelas nossas decisões; [...] reconhecer como os avanços científicos e tecnológicos podem afetar o meio ambiente positiva ou

negativamente; [...] conhecer as fontes confiáveis de informação científica e tecnológica, como acessá-las, e como usar essas fontes no processo de tomada de decisão (NSTA, 2010, p. 2).

Outras habilidades da alfabetização científica foram propostas por Sasseron e Carvalho (2011), as quais, ao apresentarem uma revisão bibliográfica sobre o conceito da AC, propuseram três eixos estruturantes da alfabetização científica. Estes, na concepção das autoras, devem ser contemplados na elaboração e planejamento de propostas didáticas que buscam contribuir para a formação cidadã de estudantes para a ação e atuação na sociedade. Os eixos estruturantes são:

[...] compreensão básica de termos, conhecimentos e conceitos científicos fundamentais [...] compreensão da natureza da Ciência e dos fatores éticos e políticos que circundam sua prática [...] entendimento das relações existentes entre Ciência, Tecnologia, Sociedade e meio-ambiente (SASSERON; CARVALHO, 2011, p. 75-76).

Em síntese, o objetivo do ensino CTS é contribuir com a formação de indivíduos cientificamente alfabetizados, para que reconheçam como ciência, tecnologia e sociedade influenciam-se mutuamente e que sejam capazes de usar esse conhecimento na sua tomada de decisão no dia a dia.

Alguns exemplos de questões que exigem atualmente posicionamentos dos cidadãos incluem a problemática do lixo urbano e dos aterros sanitários, o consumo excessivo, o aquecimento global, a escassez de energia, a eliminação de resíduos nucleares e tóxicos, a engenharia genética, o uso de hormônios de crescimento em bovinos e aves, as células-tronco, a perda da biodiversidade.

O enfoque CTS é defendido como metodologia educativa importante para o atual contexto educacional brasileiro. Pinheiro, Silveira, Bazzo (2007), ao discutirem os objetivos do Ensino Médio dispostos na Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDBEN) e as propostas dos Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (PCNEM), destacam que uma das principais preocupações no Ensino Médio é a formação cidadã dos educandos, contrapondo aos tempos em que, nesse nível, priorizava-se a preparação do estudante para o ensino superior ou para a formação profissionalizante.

A introdução do enfoque CTS no Ensino Médio encontra-se em consonância com a proposta deste nível de ensino, pois é perceptível, nos documentos norteadores do ensino médio, “a relevância em aproximar o aluno da interação com a ciência, a

tecnologia e com todas as dimensões da sociedade”, visando ao desenvolvimento de valores, competências e habilidades que propiciem condições para o exercício da cidadania (PINHEIRO; SILVEIRA; BAZZO, 2007).

A formação cidadã é aquela em que o ensino objetiva capacitar o aluno para identificar, reconhecer, compreender e utilizar os conceitos científicos em seu cotidiano, no exercício consciente de sua cidadania (KRASILCHIK; MARANDINO, 2007).

Em consequência da utilização do enfoque CTS no Ensino Médio, Pinheiro, Silveira e Bazzo (2007) concordam que as estruturas organizativas, o conteúdo curricular e a metodologia educativa devem passar por mudanças.

[...] parte do princípio no qual o objetivo do professor é promover uma atitude criativa e crítica, ao invés de conceber o ensino como um processo de transmissão de informações por meio de “macetes” e de memorização. Para que se atinja este tipo de formação, será necessária uma nova postura perante os conteúdos a serem estudados, afinal, a pretensão do ensino CTS é buscar e incentivar a participação dos estudantes e minimizar a participação do professor. As formas de se trabalhar com o enfoque CTS no Ensino Médio são várias [...], basta que cada um analise os conhecimentos com os quais trabalha em sala de aula e encontre as possibilidades de trilhar esse caminho (PINHEIRO; SILVEIRA; BAZZO, 2007, p. 81).

Diferentes modalidades de ensino que abordam as relações CTS são apontadas na literatura científica. Por exemplo, Auler (2002) considera que

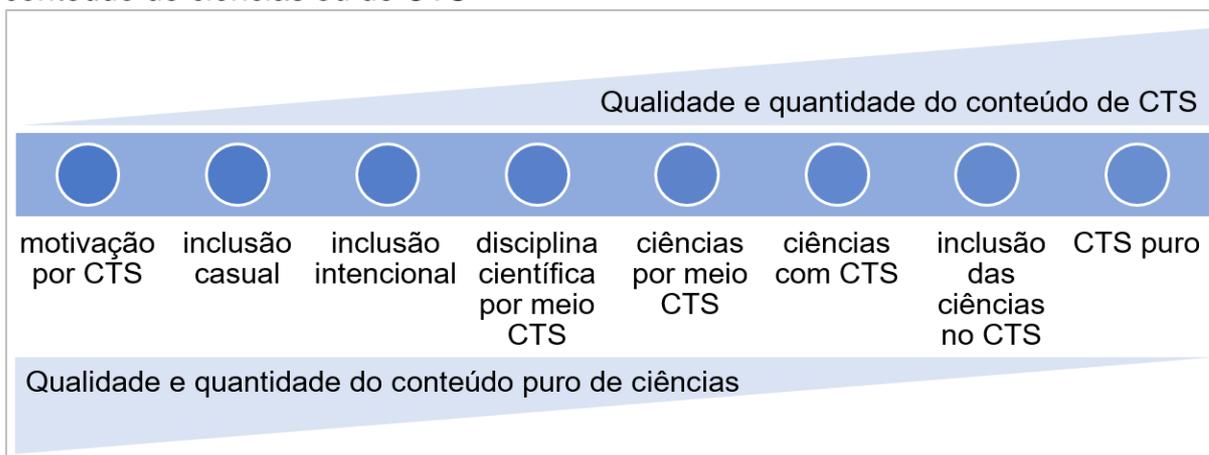
O enfoque CTS abarca desde a ideia de contemplar interações entre Ciência-Tecnologia-Sociedade apenas como fator de motivação no ensino de ciências, até aquelas que postulam, como fator essencial desse enfoque, a compreensão dessas interações, a qual, levada ao extremo em alguns projetos, faz com que o conhecimento científico desempenhe um papel secundário (AULER, 2002, p. 31).

Strieder (2008) afirma que o “lema CTS abarca uma série de sentidos e significados e há uma compreensão muito diversificada do que seja uma abordagem CTS”.

Em função da proporcionalidade da presença de *conteúdos CTS* e *conteúdos puros* de ciências, Aikenhead (1994) aponta oito categorias, sintetizados na figura 2, que descrevem as possíveis estruturas de integração da educação CTS. As categorias são: (1) Conteúdo de CTS como elemento motivacional; (2) Incorporação eventual do conteúdo de CTS ao conteúdo programático; (3) Incorporação sistemática

do conteúdo de CTS ao conteúdo programático; (4) Disciplina científica (Química, Física e Biologia) por meio de conteúdo de CTS; (5) Ciências por meio de conteúdos de CTS; (6) Ciências com conteúdos de CTS; (7) Incorporação das Ciências ao conteúdo CTS (8) Conteúdos puros de CTS (AIKENHEAD, 1994, p. 55).

Figura 2 – Categorias de Ensino CTS em função da qualidade e quantidade do conteúdo de ciências ou de CTS



Fonte: Elaborado pelo autor, com base em Aikenhead<sup>5</sup> (1994).

Ainda, na mesma direção de Aikenhead (1994), a integração da orientação CTS no ensino das Ciências pode ser realizada por meio de três formas de implementação: (1) a adição de módulos ou unidades puramente CTS no currículo convencional; (2) o acréscimo de temas de CTS na conclusão dos conteúdos tradicionalmente abordados; (3) a reestruturação dos conteúdos numa perspectiva CTS (LÓPEZ CERESO, 1998).

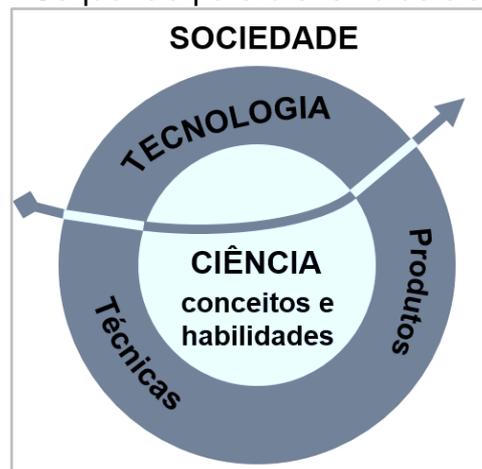
Apesar de considerar a existência da diversidade de propostas com enfoque CTS, não tendo, porém, métodos e técnicas exclusivos, Aikenhead (1994) sugere, com base em pesquisas sobre produção de materiais de ensino CTS, quatro aspectos básicos para o planejamento e organização de uma aula, uma unidade ou de um livro com enfoque CTS.

O primeiro aspecto – **função** – apresenta os objetivos de um ensino CTS, enquanto o segundo, o que deverá ser ensinado – **conteúdo**. Os dois últimos aspectos tratam sobre a **estrutura** e a **seqüência**, isto é, como a Ciência e o conteúdo CTS podem ser integrados e como se pode desenvolver um ensino com enfoque CTS (AIKENHEAD, 1994).

<sup>5</sup> De acordo com Aikenhead (1994), as três primeiras categorias podem ser encontradas em currículos de ciências tradicionalmente ensinados, enquanto as demais categorias se concentram cada vez mais no conteúdo CTS.

A seta, na figura 3, indica a sequência de eventos para o ensino com enfoque CTS proposto por Aikenhead (1994), na qual se tem início no domínio da sociedade e segue para os domínios tecnológico, científico, passando novamente pelo domínio tecnológico até chegar ao domínio da sociedade.

Figura 3 – Sequência para o ensino de ciências CTS



Fonte: Traduzido de Aikenhead (1994, p. 57).

O ensino CTS deve ser, então, iniciado no domínio da sociedade por meio de uma questão social. As questões ou problemas sociais são geralmente relacionados à tecnologia, assim, surge a necessidade de conhecer aspectos tecnológicos (área cinza), que possuam relação com o tema em estudo para compreender a questão ou problema social levantado.

Com isso, os conteúdos de ciências (área central clara) são definidos para permitir a compreensão dos conhecimentos tecnológico e social abordados nas etapas anteriores. Em seguida, o domínio tecnológico é novamente inserido. A vantagem de rever a tecnologia que os alunos já haviam estudado é que, usando a ciência que aprenderam, é possível apreender melhor a relação imbricada entre a ciência e a tecnologia.

Por fim, a sequência termina no domínio da sociedade em que a questão social é retomada para, em seguida, levar os alunos “a tomar uma decisão responsável informados por (1) uma compreensão em profundidade da ciência, (2) uma compreensão da tecnologia relevante, e (3) uma consciência dos valores com orientação CTS” (AIKENHEAD, 1994).

Em síntese, os procedimentos para a realização de um trabalho pedagógico com enfoque CTS pode ser orientado por meio dos passos seguintes:

(1) introdução de um problema social; (2) análise da tecnologia relacionada ao tema social; (3) estudo do conteúdo definido em função do tema social e da tecnologia introduzida; (4) estudo da tecnologia correlata em função do conteúdo apresentado e (5) discussão da questão social original (SANTOS; MORTIMER, 2002, p. 121).

Portanto, a produção de materiais de ensino ou sequências didáticas com ênfase em CTS se caracteriza por uma relação entrelaçada entre educação científica, tecnológica e social em que temas científicos e tecnológicos são ensinados a partir (e em torno) da discussão de seus aspectos sociais.

Alguns dos tipos de estratégias que podem ser consideradas no planejamento de experiências curriculares CTS são as unidades baseadas em questões, análise de simulações, pesquisas na internet, exercícios de interpretação de papéis, atividades em grupo, estudo independente, projetos de pesquisa, seminários, vídeos e filmes, estudos históricos, pesquisa-ação, fóruns, jornais e outros meios de comunicação, estudos de caso, apresentações orais.

## 1.2 DOCUMENTOS CURRICULARES OFICIAIS PARA O ENSINO DE BIOLOGIA

Desde a publicação da atual LDBEN, em 1996 (BRASIL, 2016a), um conjunto de documentos que buscam caracterizar uma reforma curricular para o ensino médio tem sido proposta, por exemplo, os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio – PCNEM (BRASIL, 2000), as Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais – PCN+ (BRASIL, 2004) e as Orientações Curriculares para o Ensino Médio – OCNEM (BRASIL, 2006) são alguns desses documentos curriculares que apresentam contribuições teórico-metodológicas para a prática docente no Ensino Médio.

Considerando o interesse do presente estudo, o foco da discussão nesse ponto é concentrado nos documentos oficiais referentes à área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, com atenção privilegiada ao ensino de conteúdos de Genética e Biodiversidade.

Os PCNEM<sup>6</sup> discutem o “processo de ensino-aprendizagem, a metodologia, os enfoques, as estratégias e os procedimentos educacionais para o ensino das áreas”,

---

<sup>6</sup> Os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio descrevem três conjuntos de competências gerais que orientam o aprendizado no ensino médio. São eles: representação e comunicação, investigação e compreensão, contextualização sociocultural dos conhecimentos científicos e tecnológicos (BRASIL, 2000).

admitem a interdisciplinaridade, a contextualização, a problematização em sala de aula e a integração dos conhecimentos práticos e teóricos como fios condutores para a organização curricular, a relevância educacional em se considerar os conhecimentos prévios dos alunos e explicitam as competências e habilidades a serem desenvolvidas pelos estudantes (BRASIL, 2000).

Quanto aos objetivos, os parâmetros assinalam que o aprendizado disciplinar em Biologia possibilita ao aluno emitir julgamentos, tomar posição cidadã sobre questões que requerem conhecimentos biológicos, apropriar-se de conhecimentos que estão subjacentes à compreensão da relação entre ciência, tecnologia e sociedade para ampliar as possibilidades de participação efetiva e autônoma no mundo em que vive (BRASIL, 2000).

Os PCN+ ampliam as orientações contidas nos PCNEM e reafirmam a necessidade de articular as competências com os conhecimentos disciplinares, estabelecendo a organização dos conteúdos em torno de seis temas estruturadores do ensino disciplinar. São eles: 1. Interação entre os seres vivos; 2. Qualidade de vida das populações humanas; 3. Identidade dos seres vivos; 4. Diversidade da vida; 5. Transmissão da vida, ética e manipulação gênica; 6. Origem e evolução da vida (BRASIL, 2004).

O documento também apresenta um conjunto de sugestões de estratégias e exemplos concretos para a abordagem dos temas de Biologia, com destaque para a experimentação, os estudos do meio, o desenvolvimento de projetos, os jogos, os seminários, os debates e a simulação (BRASIL, 2004).

As OCNEM buscam trazer um conjunto de reflexões para subsidiar o diálogo entre o professor e a escola sobre a práxis docente, reinterpretando e reorganizando os PCNEM. O documento assinala alguns desafios do Ensino de Biologia como o de “possibilitar ao aluno a participação nos debates contemporâneos que exigem conhecimento biológico”, possibilitar ao aluno perceber a importância da biodiversidade e reconhecer como ela influencia a qualidade de vida humana e formar indivíduos com um sólido conhecimento de Biologia e com raciocínio crítico para nortear o posicionamento do aluno frente a questões polêmicas do mundo contemporâneo. A alfabetização científica é apontada pelo documento como caminho para enfrentar os desafios que se apresentam (BRASIL, 2006).

[...] o ensino de Biologia deveria se pautar pela alfabetização científica. Esse conceito implica três dimensões: a aquisição de um vocabulário básico de conceitos científicos, a compreensão da natureza do método científico e a compreensão sobre o impacto da ciência e da tecnologia sobre os indivíduos e a sociedade (BRASIL, 2006, p. 18).

No que diz respeito ao ensino de Genética, os PCNEM enfatizam a relação da Genética no contexto CTS quando afirmam que:

O desenvolvimento da Genética e da Biologia Molecular, das tecnologias de manipulação do DNA e de clonagem traz à tona aspectos éticos envolvidos na produção e aplicação do conhecimento científico e tecnológico, chamando à reflexão sobre as **relações entre a ciência, a tecnologia e a sociedade**. Conhecer a **estrutura molecular da vida**, os mecanismos de perpetuação, **diferenciação das espécies e diversificação intraespecífica**, a **importância da biodiversidade para a vida no planeta** são alguns dos elementos essenciais para um posicionamento criterioso relativo ao conjunto das construções e intervenções humanas no mundo contemporâneo (BRASIL, 2000, p. 14, grifo do autor).

No contexto escolar, os documentos curriculares para o ensino médio apresentam a importância do ensino sobre a Biodiversidade para a formação de indivíduos capazes de participar criticamente e de forma responsável de debates atuais que requerem domínio do conhecimento sobre a diversidade ecológica, principalmente os cidadãos que vivem num país com uma das maiores biodiversidades do planeta (BRASIL, 2000, 2002, 2006, 2016b).

Esse conhecimento maior sobre a vida e a vida humana que a escola fundamental propicia, tal como sublinham os PCNEM, permite ao aluno posicionar-se frente a questões polêmicas como as que tratam da ocupação urbana desordenada, dos desmatamentos e a consequente redução da biodiversidade na biosfera, ou da manipulação do DNA (BRASIL, 2002, p. 34).

Os PCN+ contemplam os conteúdos relacionados à biodiversidade, que devem ser apresentados de forma a permitir ao aluno perceber a importância da biodiversidade para a vida na Terra, destacando seus componentes e interações, bem como os fatores que favorecem o seu surgimento e aqueles que restringem sua perpetuação. São dois os focos principais desse tema: um centrado na diversidade dos organismos e em sua interdependência, e o outro voltado para os impactos causados pelas ações humanas (BRASIL, 2006, p. 22).

Embora as Orientações Curriculares enfatizem que o ensino dos conteúdos relacionados à Biodiversidade deve destacar os componentes e interações da

diversidade biológica, a abordagem desse tema, tanto em sala de aula quanto nos livros didáticos, tradicionalmente tem se restringido ao componente da diversidade de espécies e ecossistemas, priorizando o número, a taxonomia das espécies e os biomas quase sempre numa perspectiva descontextualizada e fragmentada (GRANDI et al., 2014; MOTOKANE; KAWASAKI; OLIVEIRA, 2010; BRASIL, 2006).

No ensino médio, o tema “Biodiversidade” relacionado à “Genética” tem, na sua maioria, abordagem superficial e implícita, com poucos exemplos práticos, e, por vezes, apresentando conceitos equivocados (FONSECA, 2007; CARDOSO-SILVA, OLIVEIRA, 2013; OROZCO, 2017; SILVA; MACIEL, 2016).

Neste aspecto particular, apesar de considerar que as editoras e seus autores têm se esforçado para superar essas questões, tal qual os avanços alcançados em relação à qualidade, os materiais didáticos disponibilizados para a maior parte dos alunos de ensino médio ainda não atendem plenamente ao que dispõem os PCNEM que, ao destacar o tema transversal Meio Ambiente e sua conservação, propõem a formação de cidadãos críticos e capazes de opinar sobre questões contemporâneas, como a crise da biodiversidade, por exemplo. (BRASIL, 2006).

Sobre esse assunto, mais recentemente, tem se discutido em âmbito nacional a Base Nacional Comum Curricular<sup>7</sup> (BNCC) que objetiva renovar e aprimorar a educação básica ao primar pela formação docente, a **qualidade dos materiais didáticos** e (re)orientar as políticas de avaliação. A BNCC busca indicar “os percursos de aprendizagem e desenvolvimento dos estudantes ao longo da Educação Básica” (BRASIL, 2016b).

Neste referido documento são apresentados dez objetivos gerais da área de Ciências da Natureza na Educação Básica, entre os quais cito quatro que se vinculam à educação CTS e apontam para um ensino que supera a mera transmissão e memorização de conceitos científicos que dão conta apenas de uma formação fragilizada e descontextualizada.

(1) Interpretar e discutir **relações entre a ciência, a tecnologia, o ambiente e a sociedade** no contexto local e global; (2) Desenvolver **senso crítico e autonomia intelectual no enfrentamento de problemas** e na **busca de soluções**, visando transformações sociais e construção da cidadania; (3) Mobilizar conhecimentos para **emitir julgamentos e tomar posições** a respeito de situações e problemas de interesse pessoal e social relativos às **interações da ciência na**

---

<sup>7</sup> Em fase de elaboração em cumprimento a Meta 7 do Plano Nacional de Educação de 2014.

**sociedade**; (4) Refletir criticamente sobre **valores humanos, éticos e morais relacionados à aplicação dos conhecimentos científicos e tecnológicos** (BRASIL, 2016b, p. 584-585, grifo nosso).

A organização do componente curricular de Biologia no Ensino Médio segue a lógica dos demais componentes da área de Ciências da Natureza, a partir de quatro eixos de formação que são o conhecimento conceitual (CC), a contextualização social, cultural e histórica (CSCH), os processos e práticas de investigação (PPI) e a linguagem das ciências (LC) (BRASIL, 2016b, p. 597-599).

Em particular à Biologia, o conjunto das seis Unidades Curriculares<sup>8</sup> e a progressão de objetivos estão organizados a partir de três princípios, a saber:

(1) dar centralidade e ênfase a **conceitos estruturantes** do pensamento biológico e a ontodefinições – a exemplo da definição de vida; (2) permitir que os/as estudantes conheçam e investiguem os fenômenos biológicos nos seus diferentes níveis de organização, [...]; (3) contemplar de maneira articulada tanto **saberes conceituais** quanto **saberes procedimentais e axiológicos** que auxiliem o/a estudante na interpretação de problemas sociocientíficos e no exercício da cidadania e a tomada de decisão socialmente responsável. Consideramos que os seguintes conceitos possam cumprir este papel: “**sistema**”, “complexidade”, “metabolismo”, “homeostase”, “**biodiversidade**”, “**evolução**” e “**herança**” (BRASIL, 2016b, p. 600, grifo do autor).

É importante destacar que a ideia de conceitos estruturantes em Biologia foi abordada inicialmente por Raul Gagliardi em 1983<sup>9</sup>, o qual definiu o conceito estruturante da seguinte forma:

um conceito cuja construção transforma o sistema cognitivo, permitindo adquirir novos conhecimentos, organizar os dados de outra maneira, transformar inclusive os conhecimentos anteriores [...] não existe um significado *per se* de cada conceito. Cada significado é o resultado do jogo de interações mútuas entre todos os elementos intervenientes (GAGLIARDI, 1986, p. 31, tradução nossa).

<sup>8</sup> As Unidades Curriculares definidas na BNCC, em semelhança aos Temas Estruturadores dos PCN+ Ensino Médio, são: 1. Biologia: a vida como fenômeno e seu estudo; 2. Biodiversidade: organização, caracterização e distribuição dos organismos vivos; 3. Organismo: sistema complexo e autorregulável; 4. Hereditariedade: padrões e processos de armazenamento, transmissão e expressão de informação; 5. Evolução: padrões e processos de diversificação da vida; 6. Ecossistemas: interações organismo-meio (BRASIL, 2016).

<sup>9</sup> GAGLIARDI, R. Les concepts structurants de la biologie. **Actes des Journées Internationales sur l'Éducation Scientifique**, p. 545- 52. Chamonix, France. 1983.

O conceito de sistema de transporte de um organismo, por exemplo, é um conceito estruturante em Biologia, pois a aquisição deste conceito permitirá ao aluno adquirir novos conhecimentos como, por exemplo, a função dos vasos sanguíneos, do coração, do sangue e suas inter-relações, bem como a relação destes com o respiratório, o excretor, digestório, entre outros sistemas de transporte (GAGLIARDI, 1986).

Assim, identificar para trabalhar os conceitos estruturantes de um determinado conteúdo científico pode facilitar o processo de aprendizagem de novos conceitos, uma vez que eles são elementos determinantes para as transformações do sistema cognitivo e pode funcionar como ferramenta estratégica para a superação de obstáculos de aprendizagem do conteúdo que se quer ensinar aos alunos.

Os conceitos de gene e biodiversidade são um dos mais importantes da Biologia, podendo ser considerado, segundo a ideia de Gagliardi (1986), como um conceito estruturante porque são fundamentais para a compreensão dos fenômenos biológicos que regem a vida.

Nessa perspectiva, considere, em especial, duas premissas como conceitos estruturantes para abordar a genética molecular, tendo como contexto ambiental e científico-tecnológico a biodiversidade:

Primeiro, *a diversidade é uma característica natural intrínseca aos seres vivos e encontra-se em todos os diferentes níveis de organização da vida*. As competências de compreender e tomar consciência da diversidade biológica podem facilitar a aprendizagem de novos conhecimentos, por exemplo, sobre a dinamicidade dos processos biológicos evolutivos, o conceito de espécie, a classificação dos seres, a origem da diversidade na Terra.

Segundo, *a diversidade é intraespecífica*. A diversidade genética é responsável pelas diferenças individuais entre os indivíduos de uma espécie. A linguagem do código genético é universal e esclarece a “unidade e diversidade” dos seres vivos. O entendimento de conceitos de variabilidade, seleção natural, extinção, mutações no DNA, hereditariedade genética é facilitado quando o indivíduo detém o conhecimento da biodiversidade intraespecífica.

Outro princípio que merece ênfase é o de considerar de forma articulada saberes conceituais, procedimentais e axiológicos com objetivos de possibilitar ao estudante a capacidade de interpretar problemas sociocientíficos, de exercer a sua cidadania e tomar decisão socialmente responsável.

O ensino que tem a centralidade quase exclusiva nos conteúdos conceituais não somente dificulta a própria aprendizagem dos conceitos como também impossibilita a formação científica do estudante para a tomada de decisão com responsabilidade social frente a questões sociocientíficas atuais que requerem fundamentação científica, tecnológica e reflexão axiológica, de valores e atitudes. Por isso, é necessário superar esse reducionismo conceitual e integrar os aspectos conceituais, procedimentais e axiológicos da ciência no planejamento de disciplinas e temas científicos (VILCHES; SOLBES; GIL-PÉREZ, 2004).

A integração articulada desses saberes está em consonância com o ensino CTS, cuja orientação baseia-se na inter-relação holística e equilibrada de conteúdos relativos à ciência, tecnologia e sociedade. Da mesma forma, e considerando os quatro pilares de aprendizagem apresentados pela Comissão Internacional sobre Educação para o Século XXI (DELORS, 1996), da Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura – UNESCO, os saberes conceituais podem equivaler a *aprender a conhecer*, já os saberes procedimentais a *aprender a fazer* e, por fim, os saberes axiológicos a *aprender a conviver* e *aprender a ser*.

### 1.3 EXPLORANDO O CONCEITO DE BIODIVERSIDADE

O termo biodiversidade é, evidentemente, uma combinação da expressão diversidade biológica e foi introduzido pelo biólogo americano Walter G. Rosen no Fórum Nacional sobre a Biodiversidade, uma conferência realizada em Washington, D.C. em 1986. Em 1988, os trabalhos de Rosen foram editados por Edward O. Wilson sob o título *Biodiversity*<sup>10</sup> (SCARANO; GASCON; MITTERMEIER, 2010).

Seguidamente, a palavra biodiversidade passou a ser utilizada frequentemente pela comunidade científica e diferentes definições surgiram, principalmente, a partir da Convenção sobre Diversidade Biológica (CDB) ocorrida durante a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUMAD) realizada na Cidade do Rio de Janeiro em junho de 1992, também conhecida como RIO-92, ECO-92 ou Cúpula da Terra (MARTINS; OLIVEIRA, 2015; OLIVEIRA; MARANDINO, 2011).

A CDB é um instrumento assinado por 175 países que firmaram o compromisso para buscar “a conservação da diversidade biológica, a utilização sustentável de seus

---

<sup>10</sup> WILSON, E. O. **Biodiversity**. National Academy Press Washington, D.C. 1988. Disponível em: <https://www.nap.edu/read/989/chapter/1>. Acessado em: 28 de janeiro 2017.

componentes e a repartição justa e equitativa dos benefícios derivados da utilização dos recursos genéticos”. No segundo artigo, deste tratado internacional, a diversidade biológica significa a

variabilidade de organismos vivos de todas as origens, compreendendo, dentre outros, os ecossistemas terrestres, marinhos e outros ecossistemas aquáticos e os complexos ecológicos de que fazem parte; compreendendo ainda a diversidade dentro de espécies, entre espécies e de ecossistemas (BRASIL, 2008, p. 13).

De modo geral, atualmente a biodiversidade pode ser conceituada em diferentes contextos, do saber científico ao senso comum, com foco no ambiente, na política e na economia, entre outros (MARQUES, 2015; OLIVEIRA; MARANDINO, 2011).

Não obstante a diversidade conceitual da biodiversidade, como se pode observar, por exemplo, nos trabalhos realizado por Marques (2015), Oliveira e Marandino (2011), a definição adotada neste trabalho é aquela que agrega a diversidade dos ecossistemas, a diversidade das espécies e, sobretudo a diversidade genética, consoante as seguintes definições:

[...] a variação entre os organismos e os sistemas ecológicos em todos os níveis, **incluindo a variação genética nas populações**, as diferenças morfológicas e funcionais entre as espécies e a variação na estrutura do bioma e nos processos ecossistêmicos tanto nos sistemas terrestres quanto aquáticos (RICKFLES, 2010, p. 368, grifo nosso).

[...] manifesta-se nos três níveis hierárquicos fundamentais da organização biológica: os genes, as espécies e os ecossistemas. A **diversidade genética** resulta da variação genética entre indivíduos e entre diferentes populações da mesma espécie. A **diversidade das espécies** representa os diferentes tipos de animais, plantas e outros organismos que habitam um determinado ecossistema ou região e a **diversidade dos ecossistemas** representa a variedade de habitats numa determinada área ou região (SANTOS, 2016, p. 3, grifo nosso).

A diversidade genética consiste na variação genética individual *dentro* de uma população e na variação genética *entre* populações. A variabilidade genética é resultante das diferenças na composição dos genes ou outras sequências de DNA entre os indivíduos e se origina quando ocorre uma mutação – *mudança na sequência de nucleotídeos no DNA de um organismo*, uma duplicação gênica ou outros

processos que produzem novos alelos e novos genes. A variação gênica também pode ser originada na reprodução sexuada quando genes existentes são arranjados de novas formas. Esse é o principal mecanismo de variabilidade genética em organismos com reprodução sexuada (REECE, 2015).

A variabilidade genética torna possível a microevolução da espécie e, sobretudo, possibilita que a população persista em ambientes em modificação, no qual a seleção natural atua, fornecendo as opções indispensáveis para a adaptação. Assim, a diminuição da diversidade genética reduz o potencial adaptativo da espécie o que aumenta o seu risco de extinção (REECE, 2015).

A diversidade de espécies representa as diferentes espécies em um ecossistema ou em toda a biosfera. Essa diversidade diminui quanto mais espécies são perdidas por extinção, o que ocasiona também a perda do valioso potencial genético armazenado em suas exclusivas bibliotecas gênicas. E, como milhões de espécies podem entrar em extinção antes de as conhecermos, genes que poderiam vir a ser extremamente úteis para a sociedade desapareceriam (REECE, 2015).

O terceiro nível da diversidade biológica é a diversidade de ecossistemas que abrangem as muitas interações entre as populações de espécies e com o meio em que vivem, além da diversidade de habitats. A extinção de uma espécie num determinado ecossistema pode resultar num impacto negativo sobre outras espécies no ecossistema (REECE, 2015).

Em síntese, diversas atividades humanas ocasionam sérios prejuízos à biodiversidade em escalas local, regional e global. A alteração de habitats, a introdução de espécies exóticas, a exploração de espécies em taxas que excedem a capacidade de recuperação de suas populações e as mudanças ambientais são exemplos das principais ameaças à biodiversidade (SADAVA, 2009).

O valor da biodiversidade é imensurável e os argumentos que sustentam o debate em torno da preocupação com a perda da biodiversidade vão desde justificativas filosóficas e éticas até a garantia da sobrevivência da humanidade, passando pelos benefícios práticos que a biodiversidade proporciona à sociedade, entre os quais, o fornecimento de medicamentos e alimentos, os motivos econômicos, os serviços ecossistêmicos e culturais (SADAVA, 2009).

Para Marandino, Seles e Ferreira (2009) as discussões sobre a temática da biodiversidade devem ir além da abordagem conservacionista ao passo que:

Tratar a biodiversidade em contextos educacionais implica não somente aspectos conceituais, mas também a compreensão das dimensões culturais, econômicas, sociais e ambientais envolvidas nos desafios desse campo. Entende-se, desse modo, que a educação para a biodiversidade não pode, hoje, prescindir da discussão de sua dimensão conservacionista (MARANDINO; SELES; FERREIRA, 2009, p. 189).

Portanto, é essencial que as pessoas do mundo compreendam a ameaças que enfrentamos como resultado da perda de biodiversidade porque os esforços para garantir a conservação da biodiversidade necessitam de um largo apoio público. Assim, quanto mais pessoas informadas e cientificamente alfabetizadas, com um entendimento sobre a importância e utilidade da biodiversidade, bem como sobre as diferentes perspectivas envolvidas (social, política, econômica, cultural, entre outras), maior será a força nos debates travados a favor das gerações futuras.

#### 1.4 ENSINO DE GENÉTICA NAS PESQUISAS BRASILEIRAS E A ABORDAGEM CTS

Uma análise da produção acadêmica em Ensino de Biologia desenvolvida em programas nacionais de pós-graduação, no período entre 1972 a 2000, detectou que, de um conjunto de 130 teses e dissertações analisadas, apenas três trabalhos contemplam a abordagem CTS e que, apesar da expansão acelerada dos conhecimentos em Genética e, conseqüentemente, as implicações de natureza ética, social e tecnológica recentemente originadas, as pesquisas que investigaram o ensino de Genética/Biotecnologia eram escassas; por sua vez, também eram inexpressivas as pesquisas que abordavam as questões sociocientíficas decorrentes do avanço desta área (SLONGO, 2004).

Numa outra tese de doutorado, foi identificado 351 documentos entre dissertações e teses que focalizam o Ensino de Biologia no Brasil, no período de 1972 a 2004. Desses, 36 abordavam a subárea genética. Nesses trabalhos, os conceitos e temas mais presentes foram o DNA, grupos sanguíneos, leis de Mendel, biotecnologia/transgênicos, doenças genéticas e conceitos básicos em genética. As pesquisas enfocam, predominantemente, a análise de livros didáticos, as concepções de estudantes e de professores sobre conceitos em genética e a formação de profissionais na área das Ciências Biológicas. Nos dados dessa pesquisa, há apenas

um único trabalho<sup>11</sup> que atrela claramente o ensino de Genética – Projeto Genoma Humano – e a abordagem CTS (TEIXEIRA, 2008).

No entanto, como era de se esperar, a baixa quantidade de trabalhos publicados de CTS até meados de 2004 pode ser explicada ao se considerar que o CTS só ganhou força no Brasil a partir do final da década de 90 (CHRISPINO et al., 2013). Além do mais, o levantamento das duas teses restringe-se ao Ensino de Biologia.

Avançando, um levantamento da produção acadêmica na área de ensino de genética, publicada em periódicos e anais de eventos nacionais, no período de 2004 a 2010, destacou veementemente a carência de pesquisas em ensino de genética que contemplasse a abordagem CTS. Na pesquisa de Estado da Arte, somente um trabalho, que abordava o Sistema ABO e fator Rh, foi encontrado. Os autores chamaram à atenção para a necessidade de desenvolvimento de pesquisas que possam auxiliar os professores em sua prática, no intuito de promover um ensino contextualizado e atualizado com destaque à problematização CTS dos temas contemporâneos em genética (OLIVEIRA; SILVA; ZANETTI, 2011).

Outros dois trabalhos que merecem destaque são os de Goldbach e Macedo (2007) e Melo e Carmo (2009). O primeiro analisa a publicação acadêmica sobre o ensino de genética de três principais eventos da área de Ensino de Ciências e Biologia no período de 2001 a 2006. O estudo aponta a abordagem pouco integrada, fragmentada, descontextualizada e simplificada do ensino de genética como desafios presentes para a renovação da genética escolar.

O segundo apresenta algumas reflexões quanto aos estudos e pesquisas vinculadas ao ensino de genética e biologia molecular no ensino médio a partir do perfil dos trabalhos científicos publicados entre 1999 a 2008. A pesquisa pontua a necessidade de aumentar o número de pesquisas na área e disponibilizá-las a fim de fomentar o enriquecimento substancial do processo de ensino e aprendizagem na área de ensino de genética e biologia molecular (MELO; CARMO, 2009).

Com base nesses trabalhos, é possível afirmar que é ínfima a pesquisa acadêmica voltada à produção de estratégias didáticas para o ensino de genética no

---

<sup>11</sup> CANAL, R. R. **Educação Científica, Genética e Ética**: a abordagem de temas contemporâneos no Ensino de Biologia. Bauru, 2003. Faculdade de Ciências, Universidade Estadual Paulista (Educação para a Ciência). Dissertação de Mestrado.

ensino médio à luz da abordagem CTS até o ano de 2010, quanto mais com articulações ao ensino da biodiversidade.

Diante desse fato, realizei um levantamento de dissertações e teses nas bases de dados da CAPES, Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD), Centro de Documentação em Ensino de Ciências (CEDOC) e em sítios eletrônicos de Programas de Pós-Graduação da área de Ensino de Ciências, com o intuito de complementar o Estado da Arte apresentado até este momento.

Utilizei como descritores, as expressões: ensino de genética, ensino médio/CTS, genética/tecnologia/sociedade, genética/CTS/CTSA, de forma combinada livremente e com operadores booleanos<sup>12</sup>.

O levantamento compreendeu trabalhos defendidos e publicados, no período de 2010 a 2016, que tiveram como base a realização de intervenção didático-pedagógica em sala de aula com foco na relação entre o ensino de genética, na educação básica, e a abordagem CTS. Destaco que não localizei nenhuma pesquisa de doutorado nessa perspectiva.

O quadro 1 apresenta a identificação básica dos documentos encontrados no levantamento e registra o ano de defesa do trabalho, o(a) autor(a) e orientador(a), o título, a instituição de origem a que se referem cada uma das dissertações.

Quadro 1 – Dissertações que privilegiam intervenção didático-pedagógica com ênfase em CTS e o ensino de genética na educação básica [2010-2016]

Ano	Autor/a	Título da Dissertação	Orientador/a	IES
2010	SOUSA, N. F. L. L. E.	Contribuições de uma proposta multimídia baseada no enfoque ciência, tecnologia e sociedade para o ensino das bases genéticas e imunológicas do sistema sanguíneo ABO Humano	AMARAL, F. C.	PUC-MG
2013	SOUSA, G. P.	Educação CTS e Genética, elementos para a sala de aula: potencialidades e desafios	TEIXEIRA, P. M. M.	UESB
2013	VIEIRA, M. S.	Abordagem genética e imunofisiológica dos sistemas ABO e RH para melhor compreensão e ensino da eritroblastose fetal	AMARAL, F. C.	PUC-MG
2015	RODRIGUES, E. A.	A genética no ensino fundamental: análise de um processo de ensino a partir da perspectiva CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade)	SCHROEDE R, E.	FURB

Fonte: O autor.

<sup>12</sup> Os operadores booleanos são expressões (AND, OR, NOT ou AND NOT) usadas como conjunções para combinar ou excluir palavras-chave em uma pesquisa, resultando em resultados mais focados e produtivos. Operados de pesquisa também incluem “aspas” para indicar uma frase exata e o hífen (-) para excluir o conteúdo que o segue.

Apresento, a seguir, uma síntese dos documentos identificados, destacando os objetivos, os instrumentos de coleta de dados utilizados, os resultados da pesquisa e demais pontos que julguei necessários apresentar.

A dissertação “A genética no ensino fundamental: análise de um processo de ensino a partir da perspectiva CTS”, desenvolvida no Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Naturais e Matemática da FURB, teve por objetivo analisar as contribuições da abordagem CTS para a aprendizagem de genética por alunos do oitavo ano da educação básica. A pesquisadora utilizou o diário de campo, videogravações, questionários, fotografias e produções textuais das atividades promovidas numa escola da rede estadual de ensino em Indaial-SC, para chegar aos resultados. Estes apontaram que a Sequência Didática, elaborada a partir da abordagem CTS, contribuiu para a educação científica desses estudantes que tiveram suas compreensões transformadas no decorrer das atividades propostas. A autora atribuiu o sucesso da sequência didática por ter oportunizado a participação ativa dos estudantes durante o processo de ensino e aprendizagem cuja ênfase foi dada ao DNA (RODRIGUES, 2015).

O texto dissertativo intitulado “Educação CTS e Genética – Elementos para a sala de aula: potencialidades e desafios”, produzida no Programa de Pós-graduação em Educação Científica e Formação de Professores da UESB, apresenta um relato fundamentado de uma experiência de ensino e aprendizagem de conteúdos de genética. O que abriu espaço para discutir temas sociocientíficos e para adotar uma orientação de ensino focalizada na formação para a cidadania. A intervenção pedagógica envolveu a implementação de uma sequência didática que explorou conceitos mendelianos, a biotecnologia e a engenharia genética (Projeto Genoma, células-tronco, Testes de DNA, Terapia Gênica, OGMs). A autora, após defender a viabilidade de desenvolver trabalhos que articulem a abordagem CTS no ensino de Biologia/Genética, salienta que é indispensável considerar o papel de formador/orientador do professor, a aceitação e papel do aluno, na condição de agente e sujeito do conhecimento, para se alcançar êxito na implementação de atividade dessa natureza (SOUSA, 2013).

A pesquisa de mestrado “Contribuições de uma proposta multimídia baseada no enfoque Ciência, Tecnologia e Sociedade para o ensino das bases genéticas e imunológicas do sistema sanguíneo ABO humano”, do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática da PUC/MG, produziu uma Unidade Didática

utilizando os recursos computacionais do Scratch, um ambiente virtual de ensino e aprendizagem. Com a aplicação e análise de questionários de pré-teste e pós-teste foi possível evidenciar que a utilização de uma proposta didática com base no enfoque CTS, aliado ao uso da tecnologia computacional, é uma ferramenta poderosa para promover não apenas a assimilação de conteúdos, mas para a formação crítica, consciente e reflexiva de um cidadão que saiba exercer sua cidadania (SOUSA, 2010).

Na pesquisa intitulada “Abordagem genética e imunofisiológica dos sistemas ABO e Rh para melhor compreensão e ensino da eritroblastose fetal”, o material didático, produzido na perspectiva CTS, do letramento científico e da teoria da carga cognitiva, pretendeu dar suporte a alunos e professores com o intuito de preencher lacunas oriundas da insuficiência de conteúdos adequados nos livros didáticos para o ensino dos sistemas ABO, Rh e a Eritroblastose Fetal. Somado a isso, a análise de nove obras didáticas de Biologia do Ensino Médio evidenciou que estas apresentam erros conceituais graves e explicações imunológicas incorretas (VIEIRA, 2013).

Em suma, os autores das publicações identificadas são harmônicos em defender que o ensino prescritivo e propedêutico sem conexão eficiente com o contexto tecnológico e social torna a prática pedagógica vazia. A interdisciplinaridade, a contextualização dos conteúdos, a atenção com a formação para a cidadania, a alfabetização científica e a preocupação de mirar a aprendizagem, de forma mais significativa, estiveram presentes no bojo das discussões destes trabalhos.

Nenhum trabalho de pesquisa que explorasse de forma relacionada o ensino de conteúdos de genética e biodiversidade foi encontrado durante esse levantamento de estado do conhecimento, sendo possível depreender que as proposições para o ensino de genética ocorrem, sobretudo, com foco na “genética humana”, podendo ser um fator limitante para a efetivação de uma aprendizagem menos egocêntrica e mais holística.

Sendo assim, considere no planejamento da sequência didática, as lacunas e superficialidade identificadas nesta etapa pesquisa quanto ao ensino de conteúdos de genética e biodiversidade, bem como as ideias justificadas nos trabalhos analisados no que tange a interdisciplinaridade, a contextualização e o ensino com foco no aluno e na sua formação para a cidadania.

Antes de avançar para o próximo capítulo é oportuno ressaltar que confirmei, durante as leituras para compilação desta revisão, a existência de trabalhos que

consideram articulações entre ciência, tecnologia e sociedade sem fazer referência explícita ao CTS ou aos seus balizadores teóricos. Ainda, é importante dizer que o ensino pautado na articulação de saberes, contextos sociais ou tecnológicos não é exclusividade do enfoque CTS, reconheço que outras perspectivas também buscam abordar tais articulações.

## 2 UM PERCURSO TEÓRICO-METODOLÓGICO NA PRÁXIS DE PESQUISA

Neste capítulo, apresento os aspectos metodológicos da pesquisa, abordando a sua tipologia, o contexto e os sujeitos da pesquisa, os procedimentos e instrumentos adotados para a produção e análise de dados, bem como as considerações éticas. Ao final, detalho todas as etapas do desenvolvimento do trabalho que, neste estudo, compreendeu uma intervenção didático-pedagógica.

### 2.1 TIPOLOGIA DO ESTUDO

O presente estudo é uma pesquisa qualitativa, de abordagem interpretativa, orientada pelo aporte teórico-metodológico da pesquisa-ação educacional, tendo como prospecção a própria prática pedagógica.

A **Pesquisa Qualitativa** é realizada com base na teoria crítica, que se opõe à teoria tradicional, de tipo cartesiano, e une teoria à prática (LÜDKE; ANDRÉ, 2015). É considerada a mais adequada para o tipo de investigação pretendida porque interessa o aprofundamento da compreensão do processo de ensino-aprendizagem em ambiente real da sala de aula com atividades exploratório-investigativa.

A pesquisa qualitativa tem o ambiente natural como sua fonte direta de dados e o pesquisador como seu principal instrumento; os dados coletados são predominantemente descritivos; a preocupação com o processo é muito maior do que com o produto; o “significado” que as pessoas dão às coisas e à sua vida são focos de atenção especial pelo pesquisador; a análise dos dados tende a seguir um processo indutivo (LÜDKE; ANDRÉ, 2015, p. 12-14).

A **Pesquisa da Própria Prática** ocorre quando o professor toma seu fazer pedagógico como objeto de investigação. A proposta de transformar o professor em um “investigador em aula”, visando à melhoria da prática pedagógica não é recente. O movimento do professor pesquisador data dos anos 40 com a proposta de pesquisa de Kurt Lewin, e depois com os trabalhos de Lawrence Stenhouse e John Elliot (anos 70), Donald Schön (anos 80), Liston, Zeichner (anos 90), entre outros (LISITA; ROSA; LIPOVETSKY, 2012).

O princípio é que as salas de aulas constituem laboratórios ideais para a realização de investigação da prática e teoria educativa, entendendo que a investigação educativa é uma pesquisa planejada sistematicamente, uma autocrítica

que se acha submetida à análise pública e a testes empíricos quando estes forem adequados, quando eles não são apropriados, a análise crítica recai no julgamento das evidências, por exemplo, testes, documentos, observação e registros (STENHOUSE, 2004).

A **Pesquisa-Ação**<sup>13</sup> **Educacional** tem por objetivo ser realizada na perspectiva com outros e não sobre outros. Diferente da pesquisa convencional e positivista em que, geralmente, não há interação direta dos pesquisadores com os participantes na situação observada, a pesquisa ação pressupõe participação dos interessados, tendo o pesquisador a função de fundamentar cientificamente o processo (FRANCO, 2005; COUTINHO, 2009; MALLMANN, 2015).

Para Tripp (2005, p. 445), a pesquisa-ação educacional é sobretudo “uma estratégia para o desenvolvimento de professores e pesquisadores de modo que eles possam utilizar suas pesquisas para aprimorar seu ensino e, em decorrência, o aprendizado de seus alunos”.

O esquema a seguir representa os dois domínios e as quatro fases básicas da investigação-ação, em que uma prática é sequencialmente planejada, implementada, descrita e avaliada. Assim, a prática é aprimorada pela “oscilação sistemática entre agir no campo da prática e investigar a respeito dela” (TRIPP, 2005).

Quadro 2 – Domínios e fases básicas da investigação-ação

Domínios	Fases	Descrição
Ação	1	<b>PLANEJAR</b> uma melhora da prática.
	2	<b>AGIR</b> para implantar a prática melhorada.
Investigação	3	Monitorar e <b>DESCREVER</b> os efeitos da ação.
	4	<b>AVALIAR</b> os resultados da ação.

Fonte: Adaptado de Tripp (2005).

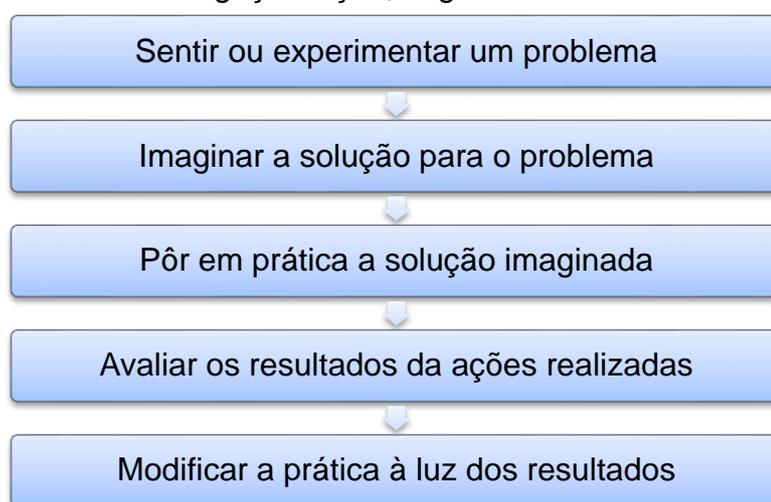
Há diversas incorporações teóricas ao conceito e à prática de investigação-ação, alguns são apresentados visualmente de forma cíclica, enquanto outros de

<sup>13</sup> Desde que Kurt Lewin cunhou a expressão pesquisa-ação em 1946, diferentes incorporações teóricas ao conceito e à prática da pesquisa-ação surgiram, gerando uma diversidade vasta de abordagens teórico-metodológicas e de modalidades de pesquisa-ação. O artigo dos autores Toledo e Jacobi (2013) aborda essa diversidade nas concepções sobre pesquisas tidas como pesquisa-ação e pode ser uma boa leitura para saber mais sobre o assunto. TOLEDO, R. F.; JACOBI, P. R. Pesquisa-ação e educação: compartilhando princípios na construção de conhecimentos e no fortalecimento comunitário para o enfrentamento de problemas. *Educ. Soc.*, vol.34, n.122, pp.155-173, 2013.

maneira linear ou ainda espiralado. Ao estudar essa diversidade teórico-metodológica da pesquisa-ação, a minha opção incidiu sobre o Modelo de Whitehead porque parece ser o que mais se aproxima da realidade educativa, diferentemente dos modelos de Lewin, Elliott e de Kemmis que são mais acadêmicos (LATORRE BELTRÁN, 2005).

Este modelo está esquematizado na figura 4 e apresenta a pesquisa-ação como uma metodologia situada entre teoria educativa e autodesenvolvimento profissional que propicia aos profissionais de educação, em quaisquer circunstâncias, investigarem e avaliarem o seu próprio trabalho (LATORRE BELTRÁN, 2005).

Figura 4 – Ciclo da Investigação-Ação, segundo Modelo de Whitehead (1989)



Fonte: Adaptado de Latorre Beltrán (2005), p. 38.

Ainda, ao abordar a pesquisa-ação e o trabalho docente em sala de aula, Campiani (2006) afirma que as práticas desenvolvidas pelos professores para a melhoria do processo ensino-aprendizagem podem ser qualificadas como pesquisa quando estas são desenvolvidas de forma altamente sistematizada ao ponto de permitir que a “complexidade da sala de aula seja transformada em uma análise voluntária, prontidão para a ação, para a busca de sistematização”, acrescentando que:

A pesquisa-ação induz a atenção para o acontecimento, o local, o contexto e o processo interativo da sala de aula. Nesta, os enunciados agem não apenas como meio de comunicação, como acontece em salas em que não há, por parte do professor, posicionamento para a reflexão e a crítica, mas também e, principalmente, como objeto de estudo (CAMPIONI, 2006, p. 473).

Nessa perspectiva, o aporte teórico e prático-metodológico da pesquisa-ação educacional é pertinente para esta pesquisa por que se espera favorecer o desenvolvimento profissional de maneira que o professor-pesquisador possa utilizar dos meios da pesquisa para “aprimorar seu ensino e, em decorrência, o aprendizado de seus alunos”, assim, transformar a própria prática a fim de melhorá-la (TRIPP, 2005). Além disso, o envolvimento do pesquisador e seu posicionamento de sujeito ativo está presente ao longo de todo o processo investigativo.

## 2.2 LOCAL DE ESTUDO

O local escolhido para a realização do estudo é o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão – IFMA Campus Buriticupu. A escolha por essa escola leva em consideração o fato de ser a Instituição em que venho exercendo a docência há mais de seis anos e, sobretudo, porque é, nesse espaço, que emergem as inquietações que me interessam investigar, por isso, é importante que se evidencie e situe o lugar e o contexto nos quais se deram as ações da pesquisa realizada.

O IFMA foi criado pela Lei nº 11.892, de 29 de dezembro de 2008, por meio da integração do Centro Federal de Educação Tecnológica do Maranhão – CEFET/MA e das Escolas Agrotécnicas Federais – EAF de São Luís, Codó e de São Raimundo das Mangabeiras, sendo uma autarquia de regime especial, vinculada ao Ministério da Educação – MEC, é detentora de autonomia administrativa, financeira, patrimonial, didática e disciplinar (BRASIL, 2008).

O Instituto Federal é uma instituição pública de educação superior, básica e profissional, pluricurricular e multicampi, especializada na oferta de educação profissional e tecnológica nas diferentes modalidades de ensino, com base na integração de conhecimentos humanos, técnicos e tecnológicos com as suas práticas pedagógicas, nos termos da Lei. Tem por Missão “Promover educação profissional, científica e tecnológica comprometida com a formação cidadã para o desenvolvimento sustentável”. Sua Visão é “Ser uma instituição de excelência em ensino, pesquisa e extensão, de referência nacional e internacional, indutora do desenvolvimento do Estado do Maranhão” (IFMA, 2016a).

Em decorrência do plano de expansão da rede federal de educação profissional e tecnológica no Maranhão iniciado em 2004, e estando, atualmente, na Fase III, o IFMA passou de cinco Unidades de Ensino para vinte e seis Campi distribuídos,

conforme figura 5, em todas as mesorregiões do Estado do Maranhão. Ainda, existem os Núcleos Avançados de Bacabeira e Santa Rita, ambos vinculados ao Campus São Luís Monte Castelo e do Itaqui Bacanga ligado ao Campus São Luís – Centro Histórico (IFMA, 2014).

Figura 5 – Distribuição dos 26 Campi do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão



Fonte: O autor.

O IFMA Campus Buriticupu é resultado da materialização do Plano de Expansão da Educação Profissional – Fase I – do Governo Federal e teve suas atividades administrativas e pedagógicas iniciadas em 2007, tendo a sua autorização de funcionamento em 18 de dezembro de 2006 por meio da Portaria MEC nº 1.968 (IFMA, 2014).

Atualmente, o IFMA Campus Buriticupu é a única instituição pública de ensino presencial que oferta cursos técnicos de nível médio e educação superior (quadro 3). Possui cerca de 900 matrículas, mais de 100 servidores e 25 terceirizados. Sendo

assim, a instituição tem uma grande responsabilidade social local a cumprir, por isso, tem-se comprometido com o contexto do município de Buriticupu, Maranhão, procurando por meio de sua missão transformar a realidade social (IFMA, 2016b).

Quadro 3 – Cursos ofertados pelo IFMA Campus Buriticupu

<b>Turno</b>	<b>Modalidade Integrada</b>	<b>Anos</b>
<b>Diurno</b>	Técnico Integrado em Meio Ambiente	1º, 2º, 3º
	Técnico Integrado em Administração	1º, 2º, 3º
	Técnico Integrado em Análises Químicas	1º, 2º
	Técnico Integrado em Agronegócio	1º, 2º
	Técnico Integrado em Eletrotécnica	3º
	Técnico Integrado em Agroecologia	3º
	Técnico Subsequente em Administração	1º
<b>Noturno</b>	Técnico Subsequente em Segurança do Trabalho	1º, 2º
	Técnico PROEJA Serviços Públicos	1º, 2º, 3º
	Tecnólogo em Gestão Pública	1º, 2º, 3º,
	Licenciatura em Biologia	1º, 2º, 3º, 4º
	Licenciatura em Matemática	1º, 2º, 3º, 4º

Fonte: O autor, com dados do horário escolar.

O papel que a instituição exerce no município de Buriticupu, transcende a formação profissional e envolve o diálogo crítico e construtivo com a formação social da comunidade local por estabelecer relações entre a escola e os diferentes setores socioculturais e econômicos da sociedade através do ensino, pesquisa e extensão.

### 2.3 CARACTERIZAÇÃO DOS PARTICIPANTES DA PESQUISA

Os participantes do estudo é um grupo de estudantes do terceiro ano do curso Técnico em Meio Ambiente Integrado ao Ensino Médio do Instituto Federal do Maranhão Campus Buriticupu, os quais já estavam familiarizados com a minha presença em sala de aula por ser professor e integrante da rotina desse grupo.

Destaco que, na oportunidade da implementação da proposta de ensino, eu ministrava aulas para os cursos técnicos de meio ambiente e agronegócio. Propus convidar a turma de terceiro ano por considerar que os conteúdos focalizados eram mais adequados para essa série, considerando que os alunos dessa turma foram

especificadamente expostos aos temas biodiversidade e genética em períodos escolares anteriores.

O grupo de estudantes participantes da pesquisa se constituiu após a aceitação do convite feito a todos os vinte e cinco alunos integrantes da turma para participarem da intervenção didático-pedagógica.

O termo de consentimento livre e esclarecido, conforme disposto no apêndice B, foi entregue aos estudantes que preliminarmente decidiram por participar dos encontros de implementação da sequência didática, para que fosse apresentado aos pais ou responsáveis.

Participaram regularmente dos encontros de implementação da proposta de ensino, 19 estudantes adolescentes com idades compreendidas entre 14 e 17 anos, os quais 12 do sexo feminino e 7, masculino; o professor pesquisador e duas bolsistas de projeto de iniciação científica, acadêmicas do curso de Licenciatura em Biologia do IFMA Campus Buriticupu, das quais também sou professor.

## 2.4 FASES E ETAPAS DA PESQUISA

Em observação ao apresentado neste trabalho sobre a investigação-ação, a pesquisa pode ser sistematicamente dividida em três fases: planejamento, aplicação e reflexão. Destas, decorrem quatro etapas básicas (quadro 4).

Quadro 4 – Descrição das Fases e Etapas da Pesquisa

Fase	Etapa	Descrição
Planejamento	1	Levantamento, leituras e análises de material bibliográfico e da prática teórico-metodológica sobre Estudos CTS, Ensino de Biodiversidade e Genética.
	2	Planejamento da sequência didática e produção do caderno didático, seguido de contatos iniciais com a direção e os estudantes da escola bem como a divulgação do minicurso.
Aplicação	3	Intervenção didático-pedagógica com a utilização dos materiais elaborados e devida produção de dados.
Reflexão	4	Avaliação da sequência didática em função dos objetivos elencados <i>a priori</i> .

Fonte: O autor.

Na fase de planejamento, a estratégia de análise reflexiva de material bibliográfico e da prática teórico-metodológica sobre os estudos CTS, o ensino de biodiversidade e genética possibilitou sentir o problema e, posteriormente, imaginar a solução para ele.

Com o planejamento da proposta de ensino concluído passei a pôr em prática a solução imaginada e em passo contínuo avaliar os resultados das ações realizadas com perspectivas de modificar a prática à luz dos resultados.

#### **2.4.1 Levantamento, leituras e análises de material bibliográfico e da prática teórico-metodológica**

Essa etapa foi realizada a partir da leitura e análise crítico-reflexiva da bibliografia e de referenciais da prática teórico-metodológica encontrados na pesquisa de levantamento bibliográfico que teve dois focos, um voltado aos estudos CTS e outro ao ensino de biodiversidade e genética. O material estudado serviu tanto para situar a questão que se desejava pesquisar quanto fornecer apoio para a construção das atividades e a escolha de materiais CTS, visando potencializar a construção do conhecimento pelo estudante sobre conteúdos de biodiversidade e genética.

Nesta etapa, também, definiu-se as questões de pesquisa e os objetivos, assim como o design do estudo.

#### **2.4.2 O planejamento da sequência didática e a produção do caderno didático**

Nesta seção, explicito os elementos que nortearam o planejamento e organização dos conteúdos educativos da sequência didática, bem como a produção do caderno didático, sendo oportuno apresentar antes conceitos e noções considerados sobre as sequências didáticas e as demais variáveis metodológicas empregadas neste trabalho.

De acordo com Zabala (1998), as sequências didáticas podem ser definidas como um “conjunto de atividades ordenadas, estruturadas e articuladas para a realização de certos objetivos educacionais”. Elas guardam a vantagem de “manter o caráter unitário e reunir toda a complexidade da prática, ao mesmo tempo em que são instrumentos que permitem incluir as três fases de toda a intervenção reflexiva: planejamento, aplicação e avaliação” (ZABALA, 1998, p. 18).

Com base em Coll<sup>14</sup>, Zabala (1998) apresenta as diferentes naturezas dos conteúdos – **conceituais, procedimentais e atitudinais**, julgando que a

---

14 COLL, C. **Marc curricular per a l'ensegyament obligatori**. Barcelona: Generalitat de Catalunya, 1986.

consideração das distintas formas de conteúdo pode servir de instrumentos para determinar as diferentes posições sobre o papel que deve ter o ensino. Ele conclui que em um ensino que propõe a formação integral dos estudantes, a presença de diferentes tipos de conteúdo deve ser equilibrada.

Tradicionalmente, o termo conteúdo tem sido associado à ideia restritiva aos aspectos conceituais do conhecimento. No entanto, essa concepção de conteúdo deve ser ampliada para incluir a compreensão de demais naturezas de conteúdos, dentre os quais, os conteúdos procedimentais e atitudinais (ZABALA, 1998).

Dessa forma, uma seleção mais apropriada dos conteúdos, que não reduza o "conhecimento" a uma única dimensão, pode ser eficaz para o desenvolvimento de competências que a educação científica objetiva alcançar.

O **conteúdo conceitual** é aquele representado pelas teorias, princípios, dados, fatos e informações, tradicionalmente ensinados principalmente com base na memorização. No entanto, a compreensão de um conceito não é adquirida imediatamente por meio de uma aprendizagem mecânica. Dessa forma, o ensino que prioriza apenas a memorização de dados, fatos ou conceitos sem enfatizar a relação destes com uma estrutura conceitual que lhes dê sentido, estará destinado ao fracasso (ZABALA, 1998).

Por exemplo, a maioria dos estudantes concluintes do Ensino Médio saberia definir o termo gene, porém, é somente com a compreensão e o sentido que eles derem aos genes relacionados a outros conceitos que será possível interpretar como os genes determinam a constituição do organismo.

O **conteúdo procedimental** pode ser definido como um conjunto de ações ordenadas destinadas a alcançar um objetivo que inclui, num sentido mais amplo, as regras, os métodos, as habilidades ou estratégias. Alguns exemplos de conteúdos procedimentais compreendem as ações de ler, desenhar, classificar, recortar, inferir etc. A aprendizagem de conteúdos procedimentais está baseada na realização das ações, na exercitação, na reflexão sobre a própria atividade e na aplicação em contextos diferenciados (ZABALA, 1998).

O **conteúdo atitudinal** está relacionado com os aspectos morais e éticos de comportamento individual e social. Ele pode ser distinguido em valores, normas e atitudes.

O valor é um princípio ou ideia ética que regula o comportamento dos indivíduos em certas situações de escolha, como o respeito à propriedade privada ou a vida.

Uma norma é um padrão ou regras de conduta que devem ser respeitadas pelas pessoas em certas situações. Uma atitude é uma tendência consistente e persistente da pessoa a se comportar de determinada maneira perante situações, objetos, pessoas, eventos de acordo com valores ou normas determinados (ZABALA, 1998).

A aprendizagem de conteúdos atitudinais supõe um conhecimento e uma reflexão sobre os possíveis modelos, uma análise e uma avaliação das normas, uma apropriação e elaboração do conteúdo, que implica a análise dos fatores positivos e negativos, uma tomada de posição, um envolvimento afetivo e uma revisão e avaliação da própria atuação (ZABALA, 1998, p. 48).

É importante frisar que a diferenciação de conteúdos segundo a sua tipologia conceitual, procedimental e atitudinal no processo de desenvolvimento da sequência didática não implica dizer que eles devem ser sequenciados ou ensinados separadamente. Ao contrário, os tipos de conteúdo devem ser ensinados de forma inter-relacionada para garantir uma aprendizagem mais significativa e dar um sentido mais amplo aos conhecimentos que se deseja ensinar.

Partindo do referencial exposto acima, considere as seguintes questões: 1) O que os alunos devem saber sobre as causas e consequências da perda de espécies e habitats? 2) De que forma os alunos podem se envolver em questões de biodiversidade? 3) Que conteúdos conceituais e procedimentais em genética estão relacionados com questões da biodiversidade e vice-versa? 4) Que atitudes e valores deve desenvolver um estudante cientificamente alfabetizado para o enfrentamento da perda massiva da biodiversidade e outros problemas ambientais subjacentes? 5) Quais instrumentos, ferramentas ou aspectos tecnológicos colaboram com o meio ambiente de forma positiva e/ou negativa? 6) Que interações há entre a biodiversidade e as atividades humanas nos aspectos sociais, econômicos e políticos?

Metodologicamente, a sequência didática foi estruturada em consonância com a dinâmica didático-pedagógica conhecida como os Três Momentos Pedagógicos (DELIZOICOV; ANGOTTI, 1991; DELIZOICOV; ANGOTTI; PERNAMBUCO, 2002). Essa dinâmica (3MP) pode ser assim caracterizada:

**Problematização Inicial (PI):** Este é o momento no qual o professor desafia seus alunos a apresentarem o que pensam e sabem sobre o assunto por meio de questionamentos e problematização do conhecimento que se quer ensinar. O professor provoca discussões e lança dúvidas sobre o assunto.

**Organização do Conhecimento (OC):** Momento em que os alunos se dedicam a estudar os conhecimentos necessários para a compreensão do assunto selecionado pelo professor.

**Aplicação do Conhecimento (AC):** É o último dos momentos pedagógicos, no qual os alunos empregam os conhecimentos apreendidos articulando os conteúdos científicos com situações concretas.

Concomitante ao planejamento da sequência didática, foi produzido um caderno didático – *Apêndice C* – utilizando o editor de texto Word®, num processo autocriativo de construção determinado pela experiência acadêmico-profissional do professor-pesquisador e o cotidiano dos alunos envolvidos na implementação da proposta de ensino.

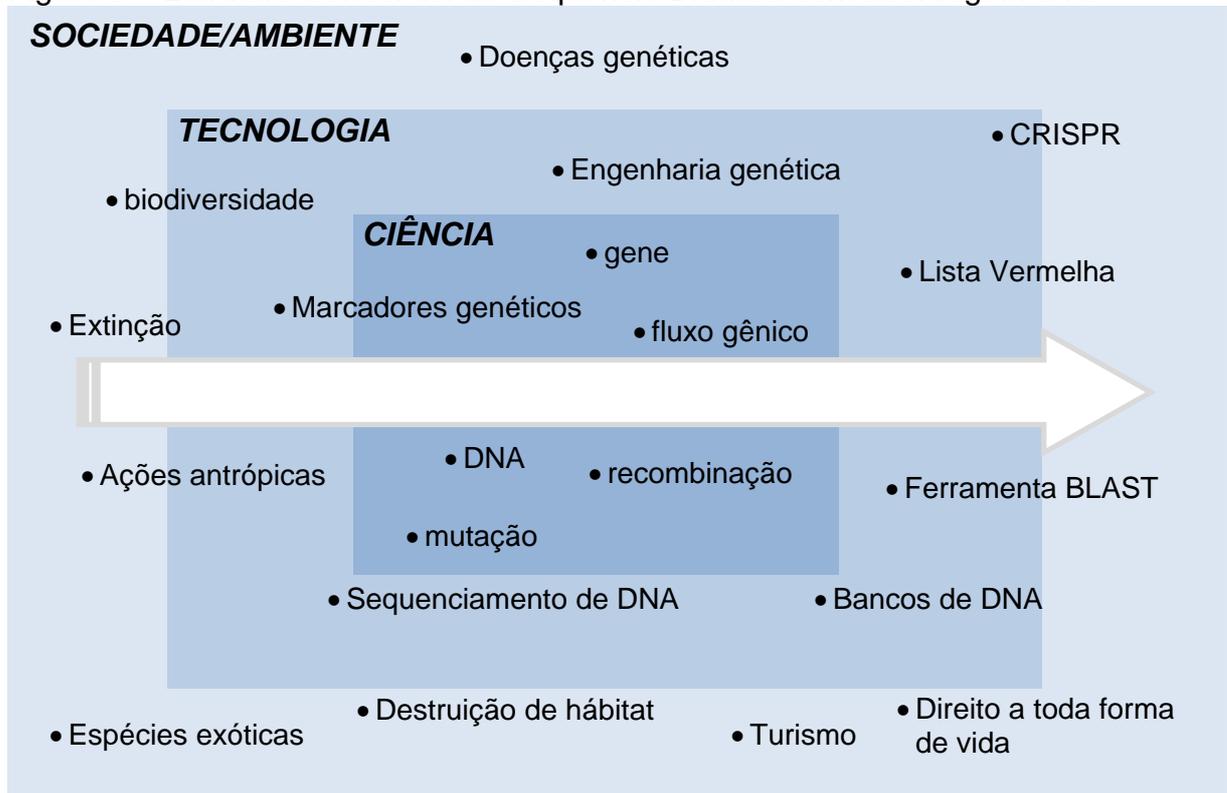
O caderno está dividido em três módulos, subdivididos em tópicos, correspondentes a cada uma das etapas da sequência didática: 1. A perda da biodiversidade genética e o risco para a extinção das espécies; 2. O progresso tecnológico e sua relação com a diversidade genética; 3. As fontes da biodiversidade sob o olhar da genética molecular.

Para a constituição do caderno didático, foram elaborados textos científico-didáticos próprios, privilegiando o contexto histórico do mesmo modo que as relações entre ciência e tecnologia. Em articulação com o texto escrito, são apresentadas diversas ilustrações – imagem, gráfico, infográfico, esquema, figura – cuidadosamente pesquisadas na internet e incluídas intencionalmente para ajudar no entendimento dos assuntos em estudo.

Cada unidade é aberta pelo título do assunto, um pequeno texto introdutório e uma imagem para introduzir o tema. Ao longo das unidades, são apresentados boxes, com o intuito de enriquecer e complementar o texto principal, e um conjunto de atividades variadas, que favorecem a aprendizagem de conhecimentos focalizados na área de ciências biológicas tanto nos aspectos conceituais quanto procedimentais e atitudinais.

A partir deste ponto, é possível apresentar em linhas gerais a organização da sequência didática que se pautou na preparação de aulas, bem como de atividades que pudessem ser mais interessantes para os estudantes participantes da pesquisa, levando-os a refletir sobre as relações Ciência-Tecnologia-Sociedade, considerando especificamente os tópicos apresentados na figura 6.

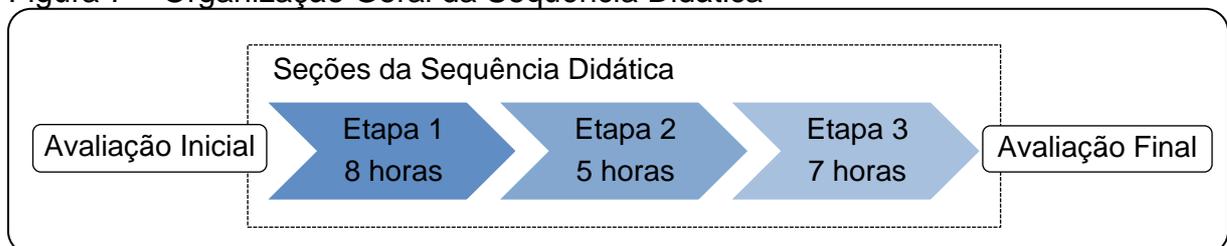
Figura 6 – Estrutura Conceitual da Sequência Didática com abordagem CTS



Fonte: O autor, com base no esquema elaborado por Aikenhead (1994, p. 57).

Didaticamente, a sequência foi estruturada a partir de conteúdos conceituais, procedimentais e atitudinais associados à biodiversidade e genética, dividida sistematicamente em três módulos, conforme esquema representado na figura 7, e planejada para cobrir cinco encontros de quatro horas, num total de vinte horas aulas.

Figura 7 – Organização Geral da Sequência Didática



Fonte: O autor.

A avaliação inicial constitui-se da apresentação da sequência didática e do levantamento de conhecimentos prévios gerais dos alunos sobre a temática a ser abordada. A avaliação final contemplou conversas de grupo e aplicação de um questionário.

As características educacionais da sequência didática – nível, objetivo, contexto, conceitos – estão apresentados, em síntese, na figura 8.

Figura 8 – Características educacionais da sequência didática

Nível	• Ensino Médio
Objetivo	• Alfabetização em Ciência e Tecnologia (ACT)
Contexto	• Ciência, Tecnologia, Sociedade (CTS)
Principais Conceitos	• Biodiversidade - Estrutura do DNA - Gene

Fonte: O autor.

Os quadros 5, 6 e 7 apresentam os objetivos conceituais, procedimentais e atitudinais, bem como explicitação dos três momentos pedagógicos integrados ao desenvolvimento das atividades planejadas para cada uma das três etapas da sequência didática.

Quadro 5 – Esquema geral da primeira etapa da sequência didática

<b>Título:</b> A perda da biodiversidade genética e o risco para a extinção das espécies
<b>Objetivos conceituais, procedimentais e atitudinais</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Compreender o que é a biodiversidade e seus níveis e como os humanos a afetam e como ela afeta os seres humanos, reconhecendo como a variação genética entre os organismos está relacionada à sobrevivência das espécies.</li> <li>• Desenvolver posicionamento diante do estabelecimento de relações entre as atividades humanas e a massiva extinção de espécies em curso, sensibilizando-se quanto às questões associadas à biodiversidade e aos problemas de conservação, porque a perda da biodiversidade, sendo irreversível, é um fator crítico na redução do capital natural do planeta.</li> <li>• Apreciar todas as formas de vida em nosso ambiente e respeito pelo mesmo.</li> </ul>
<b>Descrição dos Momentos Pedagógicos</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Problematização inicial:</i> Qual foi a última vez que você viu um vaga-lume? Por que os vagalumes estão desaparecendo da nossa cidade? Você acredita que a prática de caça de animais silvestre como o tatu, por exemplo, pode ameaçar a continuidade dessas espécies? Quem poderia citar algum lugar da cidade onde o número de seres vivos diminuiu nos últimos anos? Se sim, quais os motivos você acha que possam ter levado à situação? Você se importaria se soubesse que uma determinada espécie, animal ou planta, deixará de existir no próximo ano? Por quê?</li> <li>• <i>Organização do conhecimento:</i> Classificação dos níveis da biodiversidade e do estado de conservação biológica; investigação a respeito de espécies da flora e fauna brasileira, inclusive maranhense, ameaçadas de extinção; conhecimento sobre o porquê de a diversidade genética possibilitar maior capacidade de sobrevivência das espécies;</li> </ul>

<p>reconhecimento de que estamos diante de uma problemática bastante séria que poderá levar a uma extinção em massa.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Pesquisar e fazer registros de causas que têm levado diversas espécies brasileiras, inclusive maranhenses, ao risco de extinção, bem como as consequências disso para a vida na Terra.</li> <li>✓ Pensar sobre ações e/ou atitudes pessoais e coletivas que visem à proteção da biodiversidade.</li> <li>✓ Explorar pessoalmente um determinado habitat particular para coletar dados e fornecer informações sobre animais, plantas ou fungos que habitam o local visitado.</li> <li>✓ Selecionar uma iniciativa que seja a mais adequada para uma determinada situação exposta.</li> <li>✓ Ler assertivas e julgá-las como sendo falsas ou verdadeiras.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Aplicação do conhecimento:</i> Extinção de espécies e a interferência humana.</li> <li>✓ Escrever uma carta para um suposto político, persuadindo-o ao pensamento de questões ambientais.</li> </ul>

Fonte: O autor.

#### Quadro 6 – Esquema geral da segunda etapa da sequência didática

<b>Título:</b> O progresso tecnológico e sua relação com a diversidade genética
<b>Objetivos conceituais, procedimentais e atitudinais</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Compreender a relação entre avanços científico-tecnológicos em genética e biodiversidade, conhecendo técnicas e ferramentas da engenharia genética que permitem acessar, estudar, compreender, manipular o material genético dos seres vivos para ser capaz de questionar sobre as aplicações e as implicações da engenharia genética na sociedade.</li> <li>• Utilizar ferramenta de bioinformática para comparar sequências curtas de material genético.</li> <li>• Realizar conscientemente tarefas na realização de experimento de extração de DNA.</li> <li>• Apreciar a ciência da biotecnologia e ver como os conceitos genéticos estão relacionados ao desenvolvimento de novas tecnologias na área da agricultura, medicina, engenharia, entre outras.</li> </ul>
<b>Descrição dos Momentos Pedagógicos</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Problematização inicial:</i> Que avanços e desafios as pesquisas sobre genética trouxeram para as nossas vidas e para questões sobre a biodiversidade? Você já ouviu falar de alimentos transgênicos? O que você entende sobre transgênico? Você conhece algum alimento transgênico? Qual é a sua reação em comer um alimento transgênico? O que é teste de paternidade? Como você acha que é realizado o teste de paternidade?</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Organização do conhecimento:</i> Conhecimentos sobre técnicas de engenharia genética: transgenia, CRISPR, edição no genoma, sequenciamento de DNA, investigação forense. <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Modelar a estrutura do DNA a partir de cartas contendo conceitos-chave ou definições para os conceitos-chave considerados.</li> <li>✓ Realizar a observação de células bucais e extração de DNA humano.</li> <li>✓ Executar uma pesquisa BLAST – Ferramenta de Pesquisa Básica de Alinhamento Local – para identificação genética de espécie, considerando a sequenciação de DNA de material biológico coletado a fim de recolher provas de investigação policial, envolvendo crime ambiental devido ao corte ilegal de madeira.</li> </ul> </li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Aplicação do conhecimento</i></li> </ul>

- ✓ Extração de DNA e aplicação dos conhecimentos em genética para a identificação de espécies.

Fonte: O autor.

### Quadro 7 – Esquema geral da terceira etapa da sequência didática

<b>Título:</b> As fontes da biodiversidade sob o olhar da genética molecular.
<b>Objetivos conceituais, procedimentais e atitudinais</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conhecer os ácidos nucleicos quanto às suas propriedades e características química e biológica, bem como suas funções nos seres vivos para saber que conhecimentos específicos, como a estrutura e propriedades do DNA, por exemplo, podem ser importantes para se fazer avançar o conhecimento sobre a saúde humana.</li> <li>• Compreender como os processos biológicos da recombinação gênica, fluxo gênico e mutação favorecem o aumento da biodiversidade.</li> <li>• Propor, diante de uma situação-problema, possibilidade de contornar ou compensar impactos ambientais antropológicos inevitáveis.</li> <li>• Opinar sobre questões polêmicas envolvidas na possibilidade de uma pessoa poder saber se é ou não portadora de mutação genética e os conflitos que podem ser gerados a partir desse conhecimento ou sobre questões associadas à privacidade de informações genéticas.</li> <li>• Valorizar a ciência como um processo de construção humana e social, sendo produto de um trabalho coletivo e histórico, revelando que as hipóteses e os conceitos científicos são alterados através dos tempos.</li> </ul>
<b>Descrição dos Momentos Pedagógicos</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Problematização inicial:</i> O que nos faz termos aparências diferentes uns dos outros? Porque os gêmeos univitelinos são aparentemente idênticos? Os gêmeos têm a mesma impressão digital? Por que, frequentemente, os filhos são parecidos com os pais? Por que irmãos de mesmo pai e mãe podem ser tão diferentes um do outro? Qual a importância de comermos alimentos ricos em proteínas? O que há de comum entre todas as células do corpo de um ser vivo pluricelular?</li> <li>• <i>Organização do conhecimento:</i> Conhecimento sobre a estrutura e características do DNA e do gene; relacionamento entre o código genético, os aminoácidos e as proteínas; compreensão das fontes de variabilidade genética – mutação, fluxo gênico e recombinação gênica, bem como da origem de doenças (câncer) advindas de erros no DNA. <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Utilizar materiais didáticos manipuláveis para simular a diversidade entre indivíduos de mesma espécie, considerando a fecundação aleatória com base num conjunto de alelos predeterminados de uma espécie fictícia de borboleta, com objetivos de perceber as diferenças morfológicas e refletir sobre a variabilidade genética.</li> <li>✓ Certificar o entendimento dos alunos sobre as regras de Chargaff.</li> <li>✓ Certificar o entendimento dos alunos sobre as relações entre as bases nitrogenadas que compõem os nucleotídeos do DNA.</li> <li>✓ Propor soluções que busquem mitigar ações humanas resultante da fragmentação de habitats, criando barreiras para a ocorrência natural do fluxo gênico.</li> </ul> </li> <li>• <i>Aplicação do conhecimento:</i> Buscar solução para problema ambiental, construção de mapa conceitual. <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Opinar sobre a decisão de Angelina Jolie em fazer mastectomia e ooforectomia mesmo sem ter o câncer, bem como as implicações éticas afloradas após esse caso.</li> <li>✓ Elaborar mapa conceitual, organizando os conhecimentos adquiridos.</li> </ul> </li> </ul>

Fonte: O autor.

### 2.4.3 Contatos iniciais e divulgação do minicurso

Antes de conduzir os estudos de pesquisa na escola e depois de conversar com o diretor geral do Campus sobre os objetivos da pesquisa, aspectos metodológicos e as finalidades da pesquisa, foi coletada a licença para a concretização da intervenção didático-pedagógica – *Apêndice A*, no qual consta o termo de autorização da escola que concedeu autorização para a implementação da sequência de ensino na Instituição e a produção dos dados da pesquisa.

A divulgação e apresentação do minicurso ocorreram de forma presencial diante da turma escolhida. Neste momento, os alunos conheceram a proposta do trabalho e tiveram acesso ao Termo de Consentimento Livre e Esclarecido – *Apêndice B*.

### 2.4.4 Intervenção didático-pedagógica e produção de dados

Após a conclusão das etapas anteriores, ocorreu a intervenção didático-pedagógica e a produção de dados com a implementação da sequência didática planejada, utilizando, para isso, um caderno didático.

A intervenção, na forma de um minicurso, concretizou-se em cinco encontros, com duração de quatro horas aulas cada e teve a participação somente dos estudantes que devolveram a ficha de inscrição preenchida e o termo de consentimento livre e esclarecido devidamente assinado pelos seus responsáveis.

As técnicas e instrumentos selecionados para a produção de dados durante o processo de ensino-aprendizagem foram:

- a) **observação participante** de modo flexível, aberto, sistemático e em contato direto durante o desenvolvimento do processo educativo com registros em diário de bordo e, posteriormente, com a análise das imagens e áudios obtidos durante os encontros em sala de aula, reforçando-se os diálogos no contexto da sala de aula, os comportamentos e atitudes dos sujeitos da pesquisa e a qualidade das relações aluno/material e aluno/aluno (BELEI, 2008).

b) **conversas de grupo** que, dada a natureza qualitativa da pesquisa, foi desenvolvida com perguntas não definidas a priori, com o objetivo exploratório fenomenológico de produzir informações dos estudantes sobre dinâmicas, percepções e acontecimentos surgidos no decorrer da aplicação da sequência de ensino e não captadas na observação. Os pontos mais significativos das conversas foram refletidos com objetivos de revelar o desenvolvimento da sequência didática (AIRES, 2011).

c) **produção textual** dos estudantes nas atividades escritas, individuais e em grupo, e oral registradas ou não nos cadernos didáticos entregues aos estudantes no início da intervenção didático-pedagógica (SASSERON; CARVALHO, 2011).

d) **aplicação de questionário** a fim de produzir dados interpretativistas com registros em questionários respondidos pelos alunos ao final da implementação da sequência didática, buscando evidenciar questões e percepções envolvidos na vivência do processo de ensino-aprendizagem (CHAER; DINIZ; RIBEIRO, 2011).

Tais estratégias de pesquisa foram usadas para alcançar melhor qualidade e credibilidade dos dados produzidos no presente estudo, resolver as limitações de investigação, e, assim, aumentar o rigor da pesquisa qualitativa.

#### **2.4.5 Análise dos dados produzidos durante a pesquisa-ação**

De acordo com Bogdan e Biklen (1994, p. 205), a análise de dados corresponde ao:

processo de busca e de organização sistemático de transcrições de entrevistas, de notas de campo e de outros materiais que foram sendo acumulados, com o objetivo de aumentar a sua própria compreensão desses mesmos materiais e de lhe permitir apresentar aos outros aquilo que encontrou. A análise envolve o trabalho com os dados, a sua organização, divisão em unidades manipuláveis, síntese, procura de padrões, descoberta dos aspectos importantes e do que deve ser aprendido e a decisão sobre o que vai ser transmitido aos outros (BOGDAN; BIKLEN, 1994, p. 205).

Os dados obtidos ao longo do processo de intervenção didático-pedagógica foram submetidos à triangulação metodológica e a análise interpretativa, que conforme Severino (2007, p. 94) é “[...] tomar uma posição própria a respeito das ideias enunciadas, é superar a estrita mensagem do texto, é ler nas entrelinhas, é forçar o autor a um diálogo, é explorar a fecundidade das ideias expostas, é cotejá-las com outros, é dialogar com o autor”.

A análise interpretativa possibilita a interpretação de dados produzidos por meio das ideias do pesquisador à luz de referências selecionadas e a partir dos significados explicitados no material analisado, podendo ser considerada a mais adequada por permitir ao pesquisador explorar questões de pesquisa sobre a complexidade da aprendizagem em sala de aula (SEVERINO, 2007).

Assim, nesta pesquisa, é apresentado um relato coerente e fundamentado de como e porque os fatos revelados durante a intervenção em sala de aula ocorreram, sendo incorporadas ao texto citações referenciadas dos dados produzidos ou achados, buscando inferir conclusões e encontrar respostas às questões da pesquisa a partir da experiência vivenciada e da descrição crítica e reflexiva do fenômeno estudado, tendo por base o quadro conceitual apresentado no referencial teórico, bibliográfico e metodológico.

É importante destacar que, na pesquisa, foram consideradas as impressões, percepções e observações do pesquisador no conjunto do estudo e no decorrer da análise dos dados (BOGDAN; BIKLEN, 1994).

Para a interpretação qualitativa dos dados da pesquisa, foram consideradas três interfaces: i) conteúdos conceituais, procedimentais e atitudinais em ciência, tecnologia e sociedade associados a conteúdos de biodiversidade e genética apreendidos pelos estudantes sujeitos da pesquisa; ii) dificuldades e potencialidades emergidas durante o processo de ensino-aprendizagem desenvolvido; iii) avaliação da sequência didática a partir da percepção dos envolvidos na intervenção didático-pedagógica sob o olhar das interações pedagógicas entre materiais e alunos.

### 3 DESCRIÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO GERAL DOS RESULTADOS

Neste capítulo, apresento uma análise descritiva dos dados produzidos ao longo da intervenção didático-pedagógica, o qual contempla uma discussão reflexiva sobre explicações e implicações decorrentes da implementação da sequência didática, bem como considerações a respeito das melhorias práticas observadas no processo da pesquisa-ação com a intenção de apontar questões e contribuições que possam subsidiar ações futuras semelhantes.

A discussão reflexiva é embasada nos referenciais teóricos apontados nos capítulos anteriores, levando em consideração o quadro teórico da pesquisa interpretativa. Para os resultados da pesquisa, marcada por uma subjetividade complexa, sujeita a múltiplos significados e à ambivalência, lanço mão da descrição analítica de diversas estratégias metodológicas e de apresentação. O objetivo é buscar a maior fidedignidade possível das transcrições das gravações dos encontros em áudio, dos registros resultantes das observações participantes, dos diálogos interativos estabelecidos em conversa de grupo, das produções textuais produzidas pelos estudantes durante a aplicação dos fascículos didáticos e dos dados advindos do questionário aplicado ao final do minicurso.

Antes, saliento que este capítulo, embora proporcione um olhar plurifacetado sobre a totalidade dos resultados da intervenção didático-pedagógica, não contempla a plenitude dos dados obtidos durante o percurso da implementação da sequência didática. Tal fato se deve à necessidade de se limitar a certos recortes por considerar os propósitos, enfoques e delineamento desta pesquisa.

Ainda, cabe frisar que utilizei o critério de validação interna “*a posteriori*” ou “*empírica*”, conforme discutido pela autora Méheut (2005) para avaliar a sequência didática implementada, preliminarmente, para fins próprios do desenvolvimento desta pesquisa. A validação interna é aquela que permite avaliar a eficácia da sequência didática em relação aos objetivos de aprendizagem que nortearam a elaboração da sequência (MÉHEUT, 2005).

Desse modo, o percurso de aprendizagem dos alunos é observado durante o desenvolvimento da proposta de ensino, permitindo inferir se os objetivos de aprendizagem definidos foram ou não alcançados por meio das atividades realizadas.

Este capítulo está dividido em quatro subseções. Nas três primeiras, as quais são intituladas de acordo com o título de cada módulo correspondente ao fascículo

didático, faço uma discussão reflexiva, considerando as atividades centrais de cada um dos três módulos. Na última subseção, apresento os resultados fornecidos pela aplicação de um questionário ao final da implementação da sequência didática.

### 3.1 A PERDA DA BIODIVERSIDADE GENÉTICA E A EXTINÇÃO DAS ESPÉCIES

A primeira etapa da sequência didática abordou o assunto da perda da biodiversidade genética e a extinção das espécies, explorando os tópicos “*a exuberância e a diversidade da vida*”, “*a extinção da vida*” e a relação imbricada entre a “*diversidade genética e a extinção de espécies*”.

A seguir, destaco duas das atividades que considero o cerne dessa etapa. A primeira exigiu que os alunos pesquisassem em sítios da internet sobre a situação do estado de conservação de algumas espécies brasileiras e maranhenses ameaçadas de extinção. A outra estimulou os alunos a escreverem uma carta, abordando uma questão ambiental, endereçada a um político escolhido pelo aluno.

Antes de prosseguir para as subseções seguintes, faço algumas observações sobre os diálogos iniciais ocorridos no primeiro encontro do minicurso. Esses diálogos foram marcados por uma busca em conhecer as ideias, os conceitos, o imaginário, as percepções que o grupo de alunos detinha sobre os assuntos focalizados no minicurso.

O episódio destacado a seguir compreende as ideias dos alunos sobre o conceito da expressão biodiversidade. Como é possível observar, no diálogo transcrito, os alunos sinalizam a biodiversidade, relacionando-a, prioritariamente, aos níveis da diversidade de espécies e da diversidade de ecossistemas.

Professor: Muito bem, continuando, eu tenho outra pergunta para vocês: O que vocês entendem por biodiversidade?

Mateus: Pelo que eu já estudei, seria a diversidade da vida, né?

Patrícia: Para mim, é a variação das espécies, tanto animal quanto vegetal.

Maira: Eu já ia falar isso também porque, quando a gente está assistindo TV e vai passar toda aquela biodiversidade, a gente vê animais, florestas, essas coisas.

Carlos: Bem, em uma matéria, a gente viu um vídeo sobre os biomas e a gente viu muito biodiversidade tanto da fauna quanto da flora.

[...]

Davi: Seria também a variedade de espécies que podem variar bastante... por exemplo, um tipo de animal, tipo pássaro, podem ter vários tipos de pássaros.

Professor: Davi, o que você acha que ocasiona esses vários tipos de pássaros?

Davi: Não sei professor.

Professor: Vou te fazer outra pergunta então. As pessoas são diferentes entre si, umas tem a cor dos olhos azuis, outras verdes ou castanhos, por exemplo. O que causa isso?

Davi (e outros): É a genética! [...]

A ideia geral dos alunos sobre a biodiversidade situa-se basicamente nos níveis dos organismos e dos ecossistemas e, de forma restrita, deduzem que a diversidade dos organismos é resultado da genética, muito embora os alunos tenham focalizado apenas as diferenças morfológicas. O aluno Davi afirma que é a genética a responsável pelas diferenças fenotípicas do olho humano, entretanto, não conseguiu explicar por que as diferenças entre os vários tipos de pássaros também são devido à variação genética entre os indivíduos e espécies.

Outro aspecto levantado pelos alunos sobre a biodiversidade foi em relação à popularização do tema da biodiversidade por meio da mídia.

Os alunos não fizeram espontaneamente referência aos mecanismos que levam à biodiversidade num contexto evolutivo ou molecular mesmo com questões direcionadas para isso. Tal fato deve ser consequência do ensino que tem preocupação maior com a caracterização taxonômica e morfológica essencialista da diversidade de organismos sem dar o devido privilégio a outras interfaces da biodiversidade, por exemplo, a educação ambiental, os valores da biodiversidade – social, estético, recreativo, cultural, social, econômica, o contexto evolutivo e molecular da biodiversidade (OROZCO, 2017; SILVA; MACIEL, 2016).

A transcrição a seguir apresenta os diálogos envolvendo o entendimento dos alunos sobre os genes demonstrando que os termos alelos, fenótipo, genótipo, característica, recessivo, dominante, hélice do DNA, hereditariedade estão, de alguma forma, para os alunos, relacionados ao conceito de gene.

Professor: Turma, o que vocês entendem sobre os genes, o que são, como funcionam e onde eles estão? Essas coisas. Quem quer ser o primeiro?

Alice: O professor de genética, do semestre passado, falava muito sobre os genes e o DNA, mas eu não sei bem definir isso.

Laura: Os genes, professor, têm a ver com alelos, não é?

Professor: Sim, Laura. E o que são alelos? Você acha que alelo e gene são as mesmas coisas, quer dizer, as mesmas unidades?

Laura: Não professor, alelo não é mesmo que gene. Os alelos são duas letras que podem ser maiúsculas ou minúsculas, dominantes e recessivos. Já os genes é o que estão nas células. Entende?

Júlia: Professor, eu acho que os genes têm a ver com as características, por exemplo, a minha mãe tem a cor clara e o meu pai tem cor clara também e eu nasci assim (risos) com essa cor maravilhosa; aí eu descobri, nas aulas de genética, que eu tenho gene recessivo que é dos meus avós, porque os meus avós maternos e paternos eles são da minha cor, daí eu trago esses genes dos meus avós. Eu acho que tem a ver com isso. Entende?

Professor: Quem de vocês poderia acrescentar alguma outra coisa sobre os genes que ainda não foi falado?

Pedro: Falando em genes eu me lembro de fenótipo e genótipo ... o fenótipo é característica física, acho que de fora, e o genótipo eu acho que é como o Daniel estava falando... da característica herdada, é meio assim.

Patrícia: Professor, eu estava falando com a Maira sobre o gene recessivo que pode trazer, tipo assim, uma doença, porque quando a gente estava vendo genética, o professor falava muito que o gene recessivo é tipo uma pessoa albina... aí o gene é recessivo.

Professor: Vou perguntar de novo? O que é gene? Como é sua estrutura? Onde ficam os genes?

Mateus: Nos gametas.

Júlia: Eles estão nas células.

Alice: Estão nas hélices, não é?

João: Eu não vou mentir não, mas eu não sei dizer o que é isso não.

Professor: Mas nas nossas células tem um só gene?

Ana: Porque se os genes determinam uma característica... aí a gente tem várias características, então vai ter vários genes. Tipo assim, um gene para determinar a cor do olho, outro para determinar a cor da pele, acho que é isso.

Professor: Ok, Patrícia. E você ou outro aluno saberia dizer como os genes determinam as características? Como é que faz?

Laura: Professor, acho que é a combinação dos alelos.

Júlia: É o cruzamento dos alelos que determina a característica.

Marcos: Mas, professor, a característica não está no gene? Ou está no alelo?

Para a aluna Laura, apesar de o gene lembrar o alelo, eles não compõem uma mesma unidade e quando ela diz que os alelos são duas letras pressupõe não compreender que as letras são apenas símbolos para, na verdade, representar o gene.

A aluna Patrícia compreende que se pode falar tanto em gene recessivo quanto alelo recessivo, inferindo que ambas as expressões tratam de uma mesma unidade de informação. Porém, a ideia que ela tem sobre o gene recessivo é que este pode causar doença. Mais tarde, a mesma aluna, a Patrícia, respondeu com uma negação quando perguntada se o gene dominante também poderia causar doença.

Em continuidade ao diálogo, a turma não mencionou espontaneamente a relação das proteínas na determinação da característica. A ideia da maioria dos alunos era a de que os alelos por si determinavam as características. Um aluno chamou a atenção por dizer que “*as letras eram as responsáveis pela característica*”.

Adiante, solicitei que os alunos escrevessem no caderno o que eles entendiam por gene. A tabela 1 sintetiza os diferentes conceitos para a conceituação da palavra gene, anotada pelos alunos.

Tabela 1 – Conceituações da palavra gene anotadas pelos alunos

Conceitos registrados	Frequência
Um gene determina uma característica no ser vivo.	12
Um gene é parte de um cromossomo.	6
Um gene é parte do DNA ou sequência de nucleotídeo.	6
Um gene é uma informação para fazer proteínas.	1
Um gene é informação genética.	14
Não souberam responder.	2

Fonte: O autor.

Dos alunos que deram alguma resposta para o significado da palavra gene, como se pode constatar, a conceituação corresponde estritamente ao conceito molecular clássico de gene, no qual o gene é uma unidade informacional hereditária, presente no DNA, que determina certa característica no ser vivo.

Apesar de reconhecer que o conceito molecular clássico e conservador do gene vem enfrentando uma série de problemas ao passo que se avança nas descobertas na área da genética, conforme tem sido apontado por autores como Joaquim e El-Hani (2010), Meyer et al. (2011), Zica (2013) e outros, a presente sequência didática não estabeleceu *a priori* objetivos de aprofundamento da discussão sobre a crise em torno do conceito do gene.

No entanto, situações genéticas foram discutidas de forma expositiva dialogada com os alunos, por exemplo, o fato de a cor da íris não ser determinada por apenas um gene, mas por uma série de sequência genética; a expressão gênica sofrer influência ou interferência do ambiente; e um gene poder determinar mais de um produto gênico, rompendo, assim, a relação equivocada 1:1:1, no qual um gene codifica um produto que determina uma função biológica.

Durante a exposição, os alunos João e Manuela confessaram que se o gene era assim “*tão dinâmico*”, então, haviam “*aprendido tudo errado*”. Essas declarações

reforçam o argumento que trata da necessidade de maior aproximação entre o conhecimento científico atual e o conhecimento escolar com relação aos conceitos em genética, com vistas ao ensino interdisciplinar e contextualizado (BRASIL, 2002).

### 3.1.1 Espécies brasileiras e maranhenses ameaçadas de extinção

Diante das graves ameaças à biodiversidade local e global, a educação voltada à conservação de animais e plantas é relevante porque pode proporcionar aos alunos a aquisição de conhecimentos e a promoção de discussão de uma importante questão sociocientífica – a crise da biodiversidade – que exige de cada cidadão responsabilidade na tomada de decisões para garantir a preservação de todas as diferentes formas de vida no planeta (CONRADO, 2016).

Por ser a crise da biodiversidade um dos problemas ambientais mais graves que o mundo enfrenta, a Convenção sobre a Diversidade Biológica (CDB) afirmou ser a conservação da diversidade biológica uma preocupação comum a toda a humanidade. A CDB estabeleceu, especificamente no artigo 13, a importância da inclusão de temas concernentes “à conservação e à utilização sustentável da diversidade biológica” nos programas educacionais (BRASIL, 2000, p. 14).

Diante do exposto, o planejamento dessa atividade de pesquisa na internet, em contexto de sala de aula sobre espécies brasileiras e maranhenses em risco de extinção (quadro 8), levou em conta a pressuposição de que os alunos necessitam ter informações relevantes da realidade ambiental, para que eles possam desenvolver atitudes ambientais desejáveis.

Quadro 8 – Espécies brasileiras e maranhenses ameaçadas de extinção indicadas aos alunos para a pesquisa na internet

Nome científico	Nome popular	Informações e estado de conservação
<i>Anodorhynchus leari</i>	Arara Azul de Lear	A espécie já foi avaliada como criticamente em risco e apesar das medidas de conservação continuadas e o monitoramento repetitivo ainda se encontra <b>em perigo</b> (EN) de extinção.
<i>Parides burchellanus</i>	Borboleta	Espécie endêmica do cerrado, ocorrendo em matas ciliares ao longo de trechos sombreados de córregos e rios. Essa espécie de borboleta está <b>criticamente ameaçada</b> (CR) de extinção em face de alterações no seu habitat devido ao desmatamento e inundações e poluição dos cursos de água.
<i>Sphyrna mokarran</i>	Tubarão-martelo-grande	Espécie altamente avaliada economicamente por suas barbatanas. Seu estado de conservação é <b>em perigo</b> (EN)

		devido à pesca predatória muito alta, sendo que a espécie só se reproduz uma vez a cada dois anos.
<i>Pauxi mitu</i>	Mutum-do-nordeste	A espécie de ocorrência entre o Rio Grande do Norte e Alagoas é considerada <b>extinta na natureza</b> (EW), principalmente, como resultado da perda de hábitat pela indústria do álcool e açúcar. Atualmente existem apenas cerca de 200 exemplares no Brasil, todos em cativeiro.
<i>Cebus kaapori</i>	Caiarara	Esta espécie está listada como <b>criticamente em risco</b> (CR) em decorrência da drástica redução da população, cerca de 80% nas últimas três gerações (48 anos), em virtude da destruição do hábitat principalmente no Sul do Pará e Maranhão e, também, da caça à carne. No Brasil, a Reserva Biológica do Gurupi, localizada no Maranhão, é a única área protegida de ocorrência dessa espécie.
<i>Virola surinamensis</i>	Ucuúba	A espécie que é encontrada nos estados brasileiros do Amapá, Amazonas, Maranhão, Pará, Pernambuco, Roraima está <b>em perigo</b> (EN) de extinção devido aos altos níveis de exploração e redução na qualidade do habitat. A madeira tem grande valor econômico para as indústrias farmacêuticas e madeireiras.

Fonte: Elaborado pelo autor, com informações da lista vermelha digital da União Internacional para a Conservação da Natureza e dos Recursos Naturais – IUCN.

A seleção antecipada dessas espécies privilegiou a proximidade da área de ocorrência com a região onde os alunos moram. Isso porque, apesar de ser desejável que eles adquiram consciência do estado da crise global da biodiversidade, há a expectativa de que considerar uma espécie da região onde os alunos estão inseridos possa ter maior significado pessoal para eles, o que de certa forma, contempla a lógica do “pensar globalmente e agir localmente”.

Nessa perspectiva, o objetivo da atividade é contribuir para a alfabetização ambiental dos alunos sobre espécies ameaçadas de extinção por meio da introdução de um exercício que possibilita a promoção da admiração e da sensibilização para as questões de cuidado e conservação de organismos vivos e seus habitats.

Para a realização da atividade, os alunos foram orientados a navegar nos sítios eletrônicos do Centro Nacional de Conservação da Flora (CNCFlora), do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), do Ministério do Meio Ambiente (MMA) e outros correlatos. O objetivo era o de encontrar e registrar por escrito informações relevantes sobre espécies ameaçadas de extinção, por exemplo, o nicho ecológico, as causas que têm ameaçado a vida dessas espécies e as medidas conservacionistas adotadas.

Antes que os alunos realizassem a pesquisa, conduzi um diálogo com eles a respeito da extinção de espécies, conforme fragmento abaixo que apresenta as falas dos estudantes Maira, Davi e Mateus.

Professor: Vocês acreditam que realmente está acontecendo a extinção de espécies?

[...]

Maira: Eu sempre fui fascinada por borboletas, essas coisas assim que voam, e quando eu era criança eu costumava ver muitas borboletas, muitas mesmas, borboletas coloridas, joaninhas e, com o passar dos tempos, assim, eu não vejo mais no meu quintal. Na minha rua, passava, tipo, uma nuvem de borboletas, eu achava isso incrível, e eu não costumava assistir jornal para eu saber se estava acontecendo ou não a extinção. Eu não entendia isso muito bem. Só que depois eu vim saber que estava acontecendo mesmo, algumas espécies estão se perdendo de vez, agora só estou vendo baratas (risos).

[...]

Davi: Professor, eu quero falar, é que tem também os vagalumes e os soldadinhos, tem tempo que não vejo mais.

Mateus: A gente ver muito na televisão, né, que algumas espécies de pássaros, de mamíferos, algumas espécies estão em extinção e, às vezes, eles até tentam proteger.... e assim... também tem a questão de, por exemplo, se uma espécie está quase entrando em extinção, pode levar outra espécie a extinção, tipo assim, tem uma cadeia de alimentos.

Terminada a etapa de pesquisa realizada no laboratório de informática da própria instituição (figura 9), as discussões em sala de aula sobre questões da biodiversidade prosseguiram.

Figura 9 – Estudantes realizando pesquisas na internet



Fonte: O autor.

Os alunos expuseram os motivos da necessidade da conservação das espécies com base em ideias utilitaristas, por razões econômicas ou morais e do efeito da

extinção de espécie nos ecossistemas como pode ser observado no recorte do diálogo a seguir transcrito.

Manuela: Eu acho que as pessoas foram ver as coisas da extinção tarde demais, porque, como ficamos sabendo, já tem espécies que já foram destruídas, nem existem mais.

Helena: A gente morava no Pará, e o alojamento era, assim, no meio do mato, aí tinha um ninho de arara azul, eu acho a coisa mais linda. Então, num dia desses, eu estava assistindo o Globo Repórter que estava falando que o Brasil, na floresta amazônica, era o lugar que tinha maior biodiversidade e hoje já não tem tanta por causa do tráfico de animais e plantas. O homem pensa tanto no bem dele, mas não ver as outras espécies.

João: Os meus netos ou tataranetos, que eu quero ter, né (risos) [...] é que, talvez, hoje eu estou vendo uma espécie de animal, e aí eles não vão ter essa oportunidade, vão ver por foto. Daí, eu vou chegar para eles e dizer, “ah! meu filho eu me lembro disso, eu lembro que eu via isso pessoalmente” [...] E, se continuar assim, eles só vão poder ver por fotos.

O aluno Felipe, com base numa animação que visualizou na internet, argumentou que a extinção de uma certa espécie, numa região, pode ter efeitos negativos em cadeia, atingindo toda a teia alimentar daquela comunidade de seres vivos. Por sua vez, os alunos Mateus e João disseram que todas as espécies têm o direito à vida. O aluno Carlos, comentou que achou muito importante conhecer o caso do macaco caiarara (*Cebus kaaporí*) e completou dizendo: “às vezes, pensamos que esse negócio de extinção só ocorre longe da gente, mas não, é uma realidade bem próxima da gente”. A aluna Maiara expôs que a realização da atividade possibilitou a ela entender melhor os porquês de as espécies estarem sendo extintas e o que tem sido feito para melhorar a vida das espécies ameaçadas de extinção.

O recorte do diálogo adiante demonstra como os alunos percebem a questão da extinção de espécies em contexto local.

Professor: E aqui, na nossa cidade, será que também pode ter essa questão de extinção de espécies?

Lara: Eu vou citar um lugar da cidade, o bosque, lá no bosque tinha uma grande quantidade de árvores e agora tem pouco... e a própria cidade mesmo, antigamente, a maior parte era mata, muitas matas mesmo porque aqui faz parte da Amazônia legal, né. Mas o desmatamento foi muito grande, até o clima da cidade está aumentando, está mais calor e chovendo pouco.

Professor: E o que vocês acham da prática da caça de animais silvestres, por exemplo, o tatu, anta. Isso pode trazer alguma ameaça para a sobrevivência dessas espécies?

Turma: Sim (todos).

Felipe: Na fazenda do meu vô, lá, antigamente, meus tios não caçavam para vender só para alimentar mesmo e era fácil, iam e voltavam rapidinho com um ou dois que dava para alimentar uma ou duas semanas. Hoje em dia, vai, anda, anda e anda e não encontra nada, porque ia muita gente para caçar lá para alimentar e vender.

A estudante Lara chamou à atenção da mudança climática da cidade por conta do desmatamento, enquanto o aluno Felipe contextualizou uma retrospectiva, envolvendo a caça de animais. Esses apontamentos evidenciam que os alunos conseguem perceber questões ambientais negativas a nível local reconhecendo que o homem é capaz de perturbar o equilíbrio do ambiente e levar a destruição de espécies.

No geral, a experiência de realização de atividade revelou que os alunos respaldam suas motivações para a conservação da biodiversidade em conhecimentos específicos de ecologia, isto é, da compreensão das relações e interdependência entre as espécies e em valores pessoais com argumentos morais, éticos e políticos.

Dessa forma, é possível sugerir que o ensino sobre a biodiversidade deve levar em consideração não só apenas o argumento ecológico, mas tantos outros que perpassam por aspectos estéticos, econômicos, filosóficos e políticos.

A próxima seção aborda a atividade de escrita de uma carta, abordando a questão ambiental.

### **3.1.2 Escrita de uma carta abordando uma questão ambiental**

A monocultura, o aumento da temperatura, o uso de pesticidas, a eutrofização e assoreamento dos rios, o desmatamento, a caça ilegal são algumas das situações, entre outras, que podem afetar negativamente a biodiversidade.

Considerando os fatores citados acima e depois de ouvir os depoimentos dos alunos ao expressarem suas inquietações quanto às questões que afetam o ambiente e provocam a redução da biodiversidade, convidei-os para escreverem uma carta, endereçada aos políticos. A orientação foi a de que a carta deveria conter informações relevantes sobre o problema, revelar como a biodiversidade é ameaçada e as possíveis consequências se nenhuma ação fosse tomada e, quando possível, apontar possíveis soluções e recomendações.

A análise das dezenove cartas escritas pelos alunos permitiu visualizar, no geral, que os temas mais escolhidos por eles foram a prática de monocultura, a perda da fertilidade do solo, o desmatamento, a caça ilegal, a falta de rigor no cumprimento das leis e a assinatura do decreto que extinguiu a Reserva Nacional de cobre e associado – Renca.

As principais recomendações e soluções foram a adoção de medidas mais compromissadas com a preservação da Amazônia, o fortalecimento de políticas públicas para a conservação da biodiversidade, o estabelecimento de limites das pressões econômica e política contra o ambiente, a revogação imediata da extinção da Renca, o aumento efetivo da fiscalização e a promoção da educação ambiental nos mais diferentes espaços públicos.

As cartas dos alunos foram endereçadas ao presidente da república (n=2), ao secretário do estado (n=1), ao ministro do meio ambiente (n=7), ao secretário municipal (n=9). Os alunos nominaram uma vez o presidente da república, cinco vezes o ministro do meio ambiente e cinco vezes o secretário municipal.

Com base no panorama de como apareceram os registros escritos pelos alunos, é possível inferir que as questões locais se destacam em relação às questões nacionais ou internacionais, fato que justifica o maior endereçamento de cartas para o secretário municipal do meio ambiente além do que a maioria dos alunos tratou sobre situações locais.

### 3.2 O PROGRESSO TECNOLÓGICO E SUA RELAÇÃO COM A DIVERSIDADE GENÉTICA

A segunda etapa focalizou o assunto do progresso tecnológico e sua relação com a diversidade genética, valendo-se dos tópicos da *engenharia genética*, do *sequenciamento de DNA* e da *contribuição dos genes para a biodiversidade*.

Para essa etapa, propus aos alunos a participação em três diferentes atividades. A primeira atividade consistiu na modelação da estrutura do DNA a partir de cartas, conceitos e ilustrações químicas. Os alunos ainda participaram de uma aula de laboratório a fim de fazer observação de células, a extração de DNA humano e da utilização de ferramenta tecnológica para desvendar um caso fictício de investigação policial que envolvesse a identificação genética de um material biológico.

### 3.2.1 O quebra-cabeça da hélice de DNA: um modelo didático

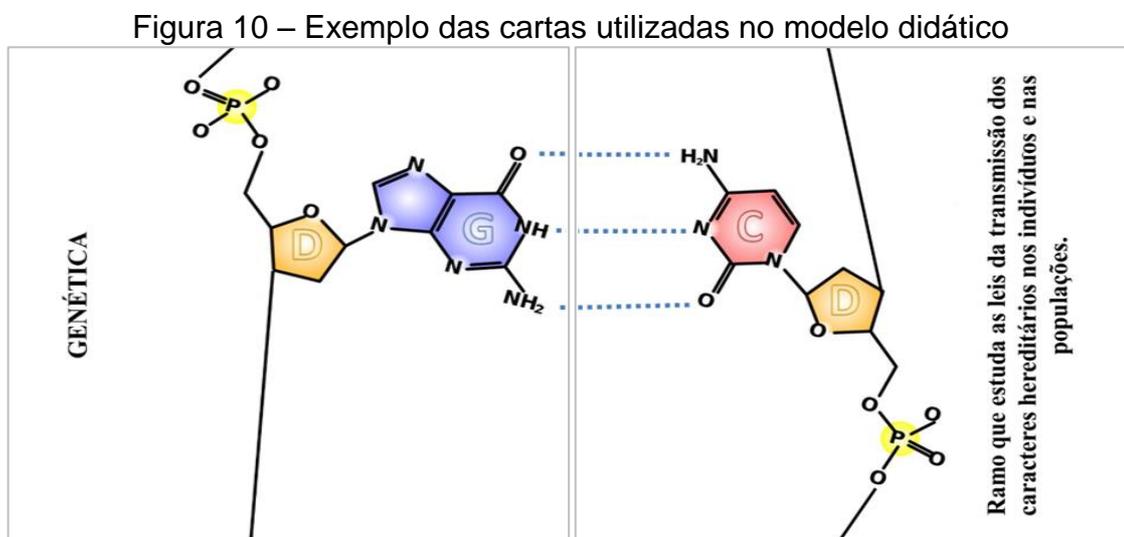
Um modelo é “uma construção, uma estrutura que pode ser utilizada como referência, uma imagem analógica que permite materializar uma ideia ou um conceito, tornados, assim, diretamente assimiláveis” (GIORDAN; VECCHI, 1996, p. 196).

A utilização de modelos no ensino de ciências é especialmente importante, porque há muitos objetos ou processos científicos que, por estarem além da capacidade cognitiva e inteligível dos alunos, serem complexos, abstratos ou de grandezas desproporcionais, são difíceis de serem compreendidos, perceptíveis, observados ou manipulados diretamente.

Embora os modelos didáticos concretos não correspondam exatamente à realidade, é possível presumir que as experiências adquiridas com a visualização e a manipulação de objetos válidos de estruturas biológicas, ou de outras áreas do conhecimento científico, muito provavelmente proporcionam benefícios para o ensino de conceitos e processos científicos.

O quebra-cabeça da hélice de DNA é um modelo didático que se concentra na estrutura do DNA e tem como base ilustrações químicas dos nucleotídeos, tipicamente representadas nos livros didáticos, impressas em cartões nos quais apresentam uma palavra-conceito ou a sua conceituação.

O material didático-pedagógico consiste em 24 cartas individualizadas, na qual cada uma delas tem impresso um certo nucleotídeo de DNA. Dessas cartas, 12 contêm uma dada palavra-chave e as outras 12, a conceituação das respectivas palavras-chave, conforme exemplificado na figura 10.



Fonte: O autor.

O desenvolvimento da atividade é centrado no aluno e oferece uma abordagem ativa (VASCONCELOS; PRAIA; ALMEIDA, 2003; MOREIRA, 2011), permitindo aos alunos interagir com o material didático disponibilizado, buscando regularidades ou não sobre o objeto montado por eles.

Cada grupo recebeu o conjunto das 24 cartas e a única informação dada aos alunos foi a de que deveriam formar uma espécie de emparelhamento de cartas em duas fileiras paralelas, dispondo-as como julgassem conveniente.

As falas dos alunos, no desenrolar dos trabalhos em grupo, foram gravadas, enquanto eu percorria nos grupos, observando como cada um deles estava a desenvolver a atividade e, quando considerava necessário, intervinha para entender como os alunos estavam resolvendo mentalmente a atividade.

Depois que os grupos terminaram de emparelhar as cartas, eles foram convidados a explicarem, de forma verdadeira, como fizeram a atividade, conforme se observa a seguir nas transcrições das falas dos participantes.

Beatriz: O início foi difícil, porque a gente não sabia bem o que deveria fazer, depois que a gente terminou de estruturar, imaginou que a ordem das figuras poderia estar de alguma forma errada, mas não descobriu qual seria a ordem correta das figuras.

João: Nosso grupo começou a fazer pelas palavras, não demos muita atenção às figuras, só depois vimos que as ligações eram perfeitas.

Júlia: Colocamos de um lado os enunciados e depois a gente colocou os conceitos do outro, daí a gente percebeu que tinha ligações que se encaixavam entre os enunciados e os conceitos, isso ajudou para a gente tirar algumas dúvidas.

Carlos: Eu olhei que cada um tinha formas diferentes e quando a gente terminou de montar e ficou observando viu que a ficha azul se liga com a verde.

Professor: E quais outras regularidades vocês conseguem perceber entre os quebra-cabeças genéticos que vocês montaram, temos aqui quatro, né?

Maira: Eu percebi que eles são como espelhos, esse daqui (apontando para a figura) está de um lado, e esse aqui do outro, como se tivesse invertido.

Pedro: A gente percebeu que todos eles têm aquela parte amarela e a parte do D e que a diferença entre cada peça são as cores laranja, azul, verde, lilás.

Manuela: Isso, professor, olha só, tem cartas que se ligam com duas ligações e outras com três, é... o C com G se liga com três e o A e T só são duas. Isso é o DNA.

Professor: Alguém mais já tinha pensado que essa estrutura fosse do DNA?

Carlos: Eu! (O Carlos esteve no mesmo grupo que Manuela).

Professor: Alguém mais? Ou só agora vocês estão percebendo que isso representa o DNA?

Beatriz: Agora que a gente está ligando com o DNA.

Professor: É isso turma?

Turma: Sim.

Professor: Certo, então vamos continuar. Que outras regularidades vocês observam?

Helena: Olha, a estrutura desse (apontando para o nucleotídeo com citosina) é parecida com esse outro aqui (apontando para o nucleotídeo de timina), porque esse tem duas coisas e essa aqui tem só uma (referindo-se aos anéis dos nucleotídeos).

Professor: E se eu trouxesse para vocês essa estrutura já montada, vocês logo reconheceriam que se tratava do modelo linear do DNA?

Turma: Não [todos].

Professor: Qual é, então, a diferença entre os quatro DNA que os grupos montaram?

Turma: A ordem das cartas [quase uníssono].

Os alunos sabiam onde o DNA estava localizado e tinham alguma ideia da estrutura de dupla hélice advindos das aulas de genética relativamente recentes, já que todos os alunos cursaram o conteúdo curricular específico em genética no semestre anterior à aplicação dessas atividades.

No entanto, de forma não esperada devido à maturidade escolar dos alunos, quase a totalidade deles responderam que mesmo depois de emparelhar as cartas não relacionaram prontamente o esquema formado à estrutura química do DNA e nenhum dos alunos soube dizer que a ilustração química de cada carta representava os diferentes nucleotídeos que formam o DNA. Dois alunos disseram que as cartas eram os alelos. A maioria dos alunos pensava que a ordem em que eles colocaram as cartas poderia está errada porque imaginavam que haveria alguma sequência de complexidade ou passos em relação aos conceitos apresentados.

Revelaram, ainda, que iniciaram a atividade, considerando, exclusivamente, a relação das palavras-chaves e seus conceitos e que somente depois de um tempo notaram que as linhas pontilhadas na extremidade de um dos lados das cartas se encaixavam, inclusive, um dos grupos relatou que, ao perceber isso, atentaram que duas cartas estariam com o emparelhamento incorreto devido ao não encaixe dessas linhas.

Em passo contínuo, pedi que eles apresentassem as regularidades ou irregularidades, similaridades ou não ao considerar a totalidade da estrutura química ou a individualidade de cada carta e, em tempo oportuno, conceituava as estruturas químicas que eles não conseguiam conceituar.

As respostas dos alunos incluíram: i) o pareamento com três linhas e com duas linhas; ii) as semelhanças das ilustrações químicas das cartas; iii) as cartas podem ter umas das letras A, T, C ou G; iv) as cartas de letra C ficavam do lado da G e as cartas com A, ao lado de T.

Com essas observações, é possível dizer que essa realidade provavelmente pode ser resultado de um ensino transmissivo de aulas expositivas com a utilização de representações do DNA, de forma demasiadamente simplificada, que prejudica a correlação entre os diferentes modelos e esquemas para representar o DNA (KRASILCHIK, 2004, 2008). Por exemplo, a aluna Patrícia disse não ter visto na escola “*um DNA assim, cheio de moléculas que nem na química*”; o aluno Pedro comentou que, nos ensinamentos anteriores, o DNA foi representado por “*caixinhas e bolinhas coloridas*”.

Apesar de considerar a dificuldade que os alunos devem ter para entender a estrutura química do DNA, a reflexão crítica dos achados, nesta pesquisa, recomenda vivamente que o ensino da estrutura do DNA seja ofertado aos alunos nos domínios biológico e químico de forma inter-relacionada com o contexto sócio-tecnológico no qual o DNA está inserido, sendo, assim, possível a construção de conhecimento significativo (FRAIHA-MARTINS, 2014).

Com isso, não intenciono defender o ensino do DNA numa complexidade profunda, que ultrapasse a capacidade cognitiva dos alunos dessa faixa etária do ensino médio, tampouco, negar o devido lugar das representações simplificadas de estruturas biológicas em seus devidos tempos. Entretanto, penso que o ensino, numa abordagem integrada e holística, seja um caminho promissor contra a persistência de ideias e concepções superficiais ou equivocadas manifestadas por concludentes da educação básica em relação à estrutura do DNA, pedra angular da vida e da biologia.

Nessa atividade, considerei o objetivo de servir aos alunos como um reforço dos conhecimentos da estrutura química do DNA, todavia, o modelo didático não se mostrou suficiente, por si próprio, para alcançar tal objetivo. No entanto, foi com utilização deste modelo didático combinado com uma ação mediadora, por meio dos questionamentos diretivos, que os alunos conseguiram progressivamente identificar regularidades e semelhanças na estrutura química esquematizada.

Na avaliação dos alunos, ao final da atividade, a maioria deles declarou que o modelo didático ajudou a entender melhor o assunto da estrutura química do DNA. O aluno Marcos disse ser difícil compreender as explicações verbais dos professores,

em sala de aula, quando não utilizam algum material motivador e que essa atividade contribuiu para ele imaginar visualmente a molécula. O aluno Pedro informou já ter um pouco de entendimento da estrutura do DNA, mas o modelo o ajudou a entender melhor e aprender “os detalhes da molécula”.

Por fim, é importante ressaltar a verdade de que os modelos não equivalem à realidade (os conceitos também não o são), mas sim são instrumentos de explicação e interpretação que objetivam proporcionar melhor compreensão dos fenômenos ou questões enfrentadas. Ao professor, caberá o desenvolvimento das necessárias situações de interação e em fazer produzir, de forma não trivial, as ferramentas mais adequadas de acordo com a mensagem que se deseja passar e analisando as formas que o modelo pode assumir (GIORDAN; VECCHI, 1996).

### **3.2.2 A resolução de um suposto crime ambiental e a genética**

A resolução de um suposto crime ambiental e a genética é uma atividade que proporciona a imersão dos alunos em um cenário de investigação forense. Neste cenário, eles têm que assumir o papel de um fiscal ambiental e utilizar a ciência e a tecnologia a fim de elucidar um suposto crime, envolvendo uma empresa de beneficiamento de madeira, a qual estaria utilizando, em seus processos industriais, madeira em risco de extinção e, portanto, proibida de extração.

Os alunos praticaram procedimentos de pesquisa em bioinformática no *Barcode of Life Data System* (BOLD<sup>15</sup>), utilizando certas sequências nucleotídicas de marcadores moleculares do gene *rcb1* presente, exclusivamente, no DNA dos cloroplastos de plantas.

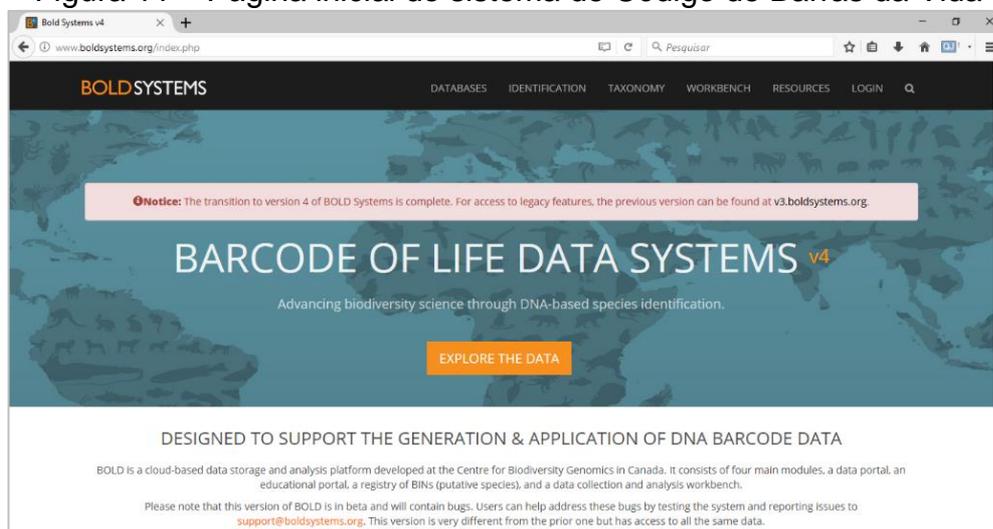
A atividade permitiu que os alunos experimentassem uma simulação de processo de investigação forense que exigiu deles conhecimentos genéticos para compreenderem a resolução do caso fictício por meio de procedimentos e ferramentas que são frequentemente usados pelos geneticistas.

---

<sup>15</sup> O Barcode of Life Datasystem (Bold) é um banco de dados on-line e gratuito ([www.barcodinglife.org](http://www.barcodinglife.org)) que permite a coleta, o armazenamento e a análise de dados de código de barras de DNA (DNA Barcoding). A codificação de barras de DNA é um método taxonômico que usa um ou mais marcadores genéticos curtos padronizados no DNA de um organismo para identificá-lo como pertencente a uma determinada espécie. Através deste método, amostras de DNA desconhecidas são identificadas para espécies registradas com base na comparação com uma biblioteca de referência (RATNASINGHAM; HEBERT, 2007).

Inicialmente, os alunos leram a situação-problema e assistiram a um vídeo, abordando o Código de Barras da Vida (youtu.be/ZlmiXgU6bCk). Em seguida, no laboratório de informática, acessaram a plataforma do BOLD na internet (barcodinglife.org) e um documento Web (goo.gl/vYfkZf) que trazia as sequências dos marcadores genéticos das amostras de madeira obtidas na investigação e, finalmente, utilizaram o sistema de identificação padrão para códigos de barras de planta armazenado na plataforma do BOLD.

Figura 11 – Página inicial do sistema de Código de Barras da Vida



Fonte: Print da tela inicial da plataforma BOLDSYSTEMS.

Nessa atividade, utilizei um questionário de resolução da atividade, constituído de três questões. A primeira tem a finalidade de registrar as espécies correspondentes às duas amostras sequenciadas. A segunda questiona por que foram utilizadas as sequências do gene *rbcL* para a identificação taxonômica das espécies envolvidas. E a terceira questão objetiva estimular o aluno a pensar no papel do Código de Barras de DNA no estudo da biodiversidade.

As respostas dadas pelos alunos ao questionário mostram que todos os alunos conseguiram identificar que as amostras obtidas na empresa correspondem às árvores das espécies *Swietenia macrophylla* (mogno-brasileiro) e *Hevea brasiliensis* (seringueira). Depois de uma pesquisa na internet, os alunos se apropriaram da informação de que ambas as espécies têm corte proibido no Brasil por Decreto.

Os alunos também conseguiram deduzir que o gene *rbcL* permite identificar, especificadamente, as espécies devido à sequência das bases nitrogenadas e reconhecer a importância do código de barras de DNA no estudo da biodiversidade à

medida que pode servir na: a) identificação de espécies de forma rápida e precisa, independentemente do ciclo de vida do organismo; b) na avaliação de ameaça de espécies invasoras, por exemplo; e c) na conservação da biodiversidade.

Os alunos Marcos e Ana compartilharam que ainda não haviam pensado na possibilidade de desvendar uma suspeita de crime ambiental com a utilização de técnicas de sequenciamento de DNA. A aluna Lara comentou que, quando assistia a série televisiva de investigação criminal CSI<sup>16</sup>, os peritos coletaram provas “*para ver se o DNA batia com o suspeito*” numa investigação de assassinato, por exemplo.

É fato que a mídia televisiva e a internet têm um impacto considerável na vida das pessoas, influenciando, de forma positiva ou negativa, em especial, os jovens inseridos em um mundo cada vez mais tecnológico. Por isso, Melo e Carmo (2009, p. 604) chamam à atenção para a “necessidade de contextualização dos conhecimentos” biológicos, veiculados diariamente nos mais variados veículos de comunicação na sociedade, sobretudo entre os alunos de ensino médio.

Dessa maneira, o professor precisa estar atento ao fosso entre a ficção e a realidade, o entretenimento e a experimentação, a compreensão e a invenção, além de sempre buscar contextualizar e ampliar as matérias jornalísticas, culturais ou artísticas numa abordagem reflexiva acerca das relações presentes entre a ciência, a tecnologia e a sociedade.

A avaliação empírica realizada por meio das respostas apresentadas evidencia uma possível influência da prática em bioinformática na aprendizagem ativa dos alunos sobre os marcadores moleculares, sobre o código de barras da vida e a biodiversidade, não só porque a maioria dos alunos respondeu corretamente às questões propostas, mas também porque segundo os alunos a forma como a atividade foi desenvolvida, sob a mediação do professor, motivou-os a querer compreender o que estavam praticando.

Assim, a atividade, que se baseou no uso de contextos e aplicações científicas como meio de desenvolver a compreensão científico-tecnológica para a resolução de uma questão socioambiental, não só apresentou o conhecimento em genética de

---

<sup>16</sup> CSI: Crime Scene Investigation é um drama policial envolvendo uma equipe de investigadores forenses treinados para resolver casos criminais, coletando evidências irrefutáveis na cena do crime e encontrando as partes faltantes que resolvem o mistério. A série fez do DNA um termo popular para milhões de fãs em mais de cento e setenta países que aprenderam a importância de material biológico como, sangue, saliva e pele como evidência que ajudam a resolver crimes ([www.cbs.com/shows/csi](http://www.cbs.com/shows/csi)).

forma diferenciada como também forneceu aos alunos a possibilidade de aplicar o conhecimento de genética, previamente, conhecido por eles e adquirir novos conhecimentos motivados pela resolução de um problema científico autêntico.

Ainda, indica que os alunos aprendem melhor quando têm a oportunidade de adquirir conhecimentos e habilidades para aplicá-los em contextos relevantes e significativos como, por exemplo, em práticas científicas.

### 3.3 AS FONTES DA BIODIVERSIDADE SOB O FOCO DA GENÉTICA MOLECULAR

A etapa 3 da sequência didática apresentou o assunto “fontes da biodiversidade sob o foco da genética molecular” e foi dividido em dois tópicos: a “*biodiversidade genética e a biologia molecular*” e “*as fontes de variabilidade genética*” (mutação, recombinação gênica e fluxo gênico) e contou com atividades didáticas diversas das quais discuto três a seguir.

A primeira envolveu um simulador didático que possibilita explicitar os mecanismos celulares da segregação cromossômica na meiose e a junção aleatória dos cromossomos (gametas) para gerar descendente de borboletas fictícias.

A segunda abordou o caso da atriz Angelina Jolie em relação à mastectomia realizada por ela, em 2013, depois de saber que possuía uma predisposição hereditária/genética para o câncer de mama devido à mutação deletéria no gene BReast CAncer 1, BRCA1.

A última atividade solicitou que os alunos analisassem um contexto legal para propor medida de compensar ou remediar o impacto ambiental resultante da fragmentação de habitats devido à necessidade socioeconômica de abertura e pavimentação de uma rodovia para integrar uma comunidade isolada dos centros urbanos.

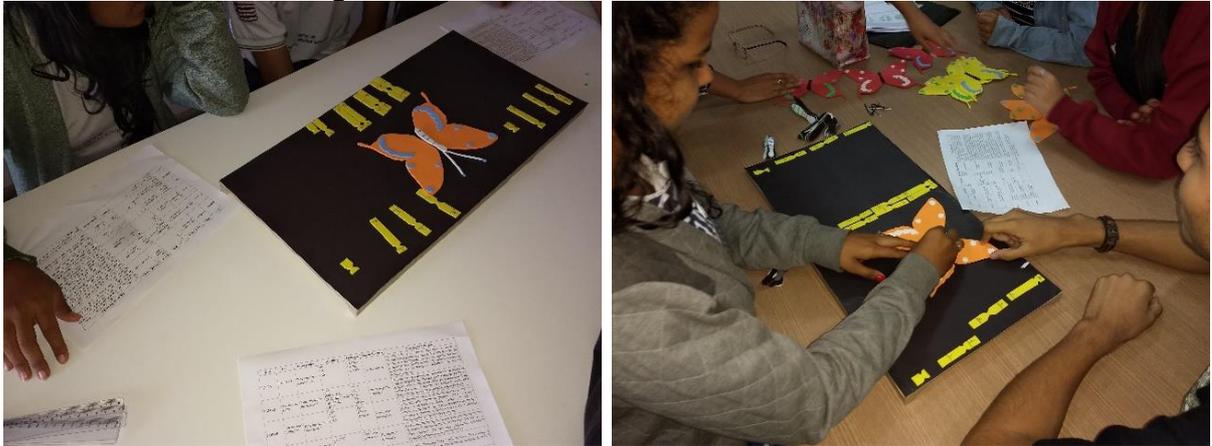
#### **3.3.1 Um simulador didático para auxiliar o ensino da biodiversidade genética**

Essa atividade se concentrou no desenvolvimento da compreensão de conceitos em genética e biodiversidade a partir da análise de diferenças morfológicas de indivíduos de uma determinada espécie de borboleta fictícia. Foi usado um modelo projetado para fins desta pesquisa, em colaboração com duas bolsistas de iniciação científica e um colega professor mestre em genética e melhoramento.

O modelo simula o evento da fecundação aleatória a nível cromossômico entre dois representantes de borboletas. O que é feito por meio da construção analógica concreta e prática de uma relação de aparência com a realidade do processo meiótico e do fenômeno da herança biológica. A atividade possibilita que os alunos manipulem objetos biológicos em diferentes níveis de organização.

O modelo consiste em uma *base de apoio* retangular confeccionada com material de compensado coberta por uma capa imantada e peças diversas fabricadas com folhas de Etil Vinil Acetato (E.V.A). Essas peças representam os cromossomos com identificação dos *loci* de seis genes e as diferentes partes do corpo de uma borboleta (figura 12).

Figura 12 – Alunos montando a borboleta com base na separação e mistura aleatórias dos cromossomos dos genitores



Fonte: O autor.

A fictícia espécie da borboleta representada no modelo possuía quatro pares de cromossomos ( $2n = 4$ ) e cinco marcantes diferenças morfológicas observáveis: i) *cor das asas* (laranja, amarela ou verde); ii) *cor do abaulamento das antenas* (azul ou verde); iii) *tamanho do tórax-abdômen* (6, 7, 8, 9 ou 10 cm); iv) *listras no tórax-abdômen* (presente – azul ou verde – ausente); e v) *mancha nas asas* (manchada ou não).

As explicações moleculares e bioquímicas possíveis (genótipo) para o aparecimento da diversidade das características morfológicas (fenótipo) observáveis na borboleta foram entregues aos grupos de alunos (quadro 9) depois de eles movimentarem e determinarem quais cromossomos estariam presentes na constituição da nova borboleta.

Quadro 9 – Sumário da herança fictícia de certa espécie de borboleta

Gene	Alelos	Locus gênico	Traço	Tipo de Herança – Explicação do efeito alélico (genótipo) sobre a característica herdada (fenótipo)
CORAS	V e A	Região superior do acrocêntrico	Cor da asa	<b>Codominância</b> – Os alelos V e A (ambos funcionais – ativos e independentes) atuam na produção de pigmentos <u>vermelho</u> e <u>amarelo</u> , respectivamente, e são codominantes. Assim, os produtos gênicos funcionais dos dois alelos se expressam igualmente em heterozigose, produzindo um terceiro fenótipo <u>laranja</u> .
TAMAB	D e d	Região inferior do metacêntrico	Tamanho do tórax-abdômen	<b>Interação gênica / Poligenia</b> – Os dois pares de alelos têm efeito cumulativo na expressão do caráter, determinando fenótipo com variações de tamanho contínuas. Quanto maior o número de alelos efetivos, aditivos (letra maiúscula), maior será o tamanho do tórax-abdômen. Cada alelo dominante adiciona <u>1 cm</u> ao seu tamanho.
	F e f	Região inferior do submetacêntrico		
CORAB	C <sup>P</sup> e C <sup>B</sup>	Região inferior do acrocêntrico	Cor do tórax-abdômen	<b>Dominância Incompleta</b> – A pigmentação preta é alcançada quando o alelo C <sup>P</sup> (funcional) está duplamente presente, isto é, a síntese proteica é expressa em dobro. Apenas em um alelo C <sup>P</sup> haverá menor expressão da proteína relacionada à cor <u>preta</u> e, portanto, o fenótipo é a cor <u>cinza</u> (fenótipo intermediário). O alelo C <sup>B</sup> não é funcional, não determina a produção de proteínas.
LIST	L e l	Região inferior do submetacêntrico	Presença de listra no tórax-abdômen	<b>Dominância Completa</b> – O alelo dominante (L) expressa a síntese de proteína reguladora do desenvolvimento de listras no abdômen. Por sua vez, o alelo recessivo que tem um nucleotídeo substituído (mutação) determina a produção de uma proteína inativa.
CORBO L	B e b	Região superior do metacêntrico	Cor das bolinhas na antena e das listras	<b>Dominância Completa</b> – Os dois alelos são funcionais, porém o alelo dominante (B) inibe a expressão do alelo recessivo (b). Dessa forma, o fenótipo <u>verde</u> só se manifestará na ausência do alelo B dominante que determina a cor <u>azul</u> .
FORAS	G	Cromossomo sexual W	Coloração nas manchas das asas	<b>Herança ligada ao sexo</b> – O alelo G, presente apenas no cromossomo W, determina a síntese de um pigmento (proteína) que mancha as asas da borboleta na cor azul. ZZ – Macho   ZW – Fêmea.

Fonte: O autor.

Neste ponto, é importante ressaltar novamente que a ideia de que a função dos genes é codificar proteínas é um tanto simplificada, tendo em vista as recentes descobertas das funções múltiplas dos genes. No entanto, considero que, para alunos da educação básica, essa ideia atende as expectativas porque suporta explicar uma vasta gama de fenômenos genéticos, além de poder servir como base para a aprendizagem aprofundada sobre os genes.

Antes que os alunos tivessem contato com o modelo didático disponibilizado, busquei conhecer o entendimento prévio deles para, posteriormente à realização da atividade, inferir as potencialidades ou limitações da utilização do modelo na mudança dos conceitos prévios dos alunos para novos conhecimentos biológicos construídos.

As principais questões levantadas, nessa etapa, buscaram saber dos alunos: por que os filhos se parecem com seus pais? O que são e onde estão os genes no corpo dos seres vivos? Como os genes funcionam? Quais os mecanismos e fenômenos envolvidos na produção de descendentes e a hereditariedade, como: DNA, genes, proteínas, cromossomos, meiose?

Para a realização da atividade, os alunos foram divididos em três grupos de trabalho. Cada grupo recebeu os materiais do modelo com as devidas orientações sobre o que deveriam fazer, em seguida, eles puderam manusear as peças de forma autônoma. Durante o trabalho dos alunos com os modelos, fiz indagações no intuito de possibilitar o entendimento do assunto estudado e de saber o porquê de estarem pensando ou fazendo daquela maneira ou de outra. Segue abaixo um recorte do diálogo estabelecido em um dos grupos.

Professor: Vocês sabem o que isto [segurando a peça dos cromossomos] está representando.

Grupo: Não.

Lara: Professor, eu acho que sei. É o cromossomo. [...]

Professor: Que critérios vocês utilizaram para parear os cromossomos?

Grupo: A forma e o tamanho deles aqui [os cromossomos] e se as letras [alelos] correspondiam. [...]

Professor: De que lado está o macho?

Grupo: O macho é esse aqui porque os cromossomos são iguais, e o professor de genética falou para gente que o XX é fêmea e o XY é macho. [...]

Grupo: Aqui, professor, nós vamos ter que pegar metade de cada conjunto de cromossomos, né? É porque metade é da mãe e a metade é do pai.

[...]

Professor: Os outros grupos receberam os mesmos conjuntos de cromossomos. Vocês acham que todas as borboletas serão iguais?

Grupo: Não, não será, tipo assim, difícil, todos escolherem os mesmos alelos. [...]

João: A gente também viu que é uma coisa aleatória e nem sempre é do jeito que a gente quer, porque no meu pensamento eu queria montar uma borboleta diferente, mas não, a gente escolheu aleatoriamente. [...]

Professor: Nas aulas de vocês sobre genética, vocês estudavam esse tipo de explicação molecular?

Turma: Não [quase todos].

Embora todos os alunos tenham confirmado que estudaram sobre estruturas genéticas (DNA, cromossomos, genes, entre outras) no semestre anterior ao minicurso e indicarem saber que essas estruturas estão no interior das células, poucos compreendiam claramente e sabiam dar explicações sobre as relações entre elas e como o DNA poderia determinar as diferenças entre indivíduos da mesma espécie ou de espécies diferentes.

As respostas e explicações dos alunos demonstraram pouca compreensão sobre fenômenos genéticos e a relação entre os modelos genéticos e moleculares. Durante os questionamentos, poucos conseguiram explicar, por exemplo, como um gene poderia determinar certa característica em um ser vivo. Apesar das dificuldades observadas, dois alunos apontaram as proteínas como sendo as responsáveis na mediação dos efeitos genéticos.

Uma situação observada na ideia dos alunos esteve relacionada à conclusão lógica de que as células deveriam conter apenas os genes que lhes são necessários para produzir o fenótipo desejado, assim, as células da pele, por exemplo, teriam genes diferentes das células musculares.

Em contraste, após a intervenção, os alunos tiveram a capacidade de dar explicações melhores com base em entendimentos advindos da experiência da utilização do modelo didático. Por exemplo, 15 alunos (15/19) mencionaram, de forma espontânea, a diversidade alélica dos seis genes abordados como algo que contribuiu para a diferença entre os indivíduos de uma mesma espécie. Exemplificaram o fato de uma borboleta resultante do trabalho de um grupo ter tórax-abdômen menor e listrado e numa outra borboleta o tórax-abdômen ser maior e não listrado em virtude das escolhas aleatórias que cada grupo fez.

Outra situação explicitada pelos alunos foi em relação ao sistema sexual das borboletas. Todos os alunos mencionaram conhecer apenas o sistema de determinação sexual XY, no qual a fêmea é homogamética (XX) e o macho

heterogamético (XY). No entanto, a determinação sexual das borboletas e de outros seres vivos é oposta, isto é, o macho é o homogamético (ZZ) e a fêmea, heterogamética (ZW).

Ao final, discuti com todos os grupos de alunos sobre o trabalho que fizeram, buscando obter a avaliação deles. Segundo esta, o modelo foi capaz de: i) propiciar uma imagem mais concreta para explicar o processo de herança biológica, pois antes não conseguiam fazer; ii) promover a compreensão e associação simulada entre os conceitos de DNA, gene, alelo e cromossomo e um melhor entendimento das relações conceituais entre os genes (material genético) e as proteínas (produto); e iii) aumentar o vocabulário relacionado a assunto de genética como, por exemplo, dominância/recessividade, dominância incompleta, codominância, herança poligênica, sistema de determinação sexual e características ligadas ao sexo.

Alice: [...] por exemplo, quanto eu estudei genética, eu entendia que VV dava a cor verde, mas o porquê disso eu não conseguia compreender muito bem. Fazer esse jogo me ajudou a entender isso melhor.

Ana: Com essa atividade, eu aprendi a diferenciar os tipos de cromossomos e que nem todas as espécies obedecem à determinação sexual que ocorre na espécie humana.

Felipe: Eu entendi que a herança genética pode ser de vários tipos. E que pode ter explicações moleculares diferentes para um mesmo jeito de representar o alelo, tipo assim, professor, o Aa e o Bb, pode ter jeito diferente de se expressar.

Essas ideias conclusivas dos alunos corroboram com a avaliação reflexiva e comparativa entre os momentos de pré-atividade, durante-atividade e pós-atividade que realizei a partir da observação participante e das análises posteriores dos áudios-gravações de cada grupo.

Com base no exposto, saliento que o ensino de genética deve propiciar aos alunos o desenvolvimento da capacidade de interligar os modelos genéticos e moleculares. Em outras palavras, os alunos devem entender que não é a representação genética dos alelos que por si só gera o fenótipo, como se pôde observar no imaginário de boa parte deles. Ao contrário, eles devem explicar que as letras, tão somente, são representações abstratas de sequências nucleotídicas de versões do gene, que contêm a informação para a produção de proteínas cuja função gera o fenótipo. Assim, são as proteínas as mediadoras centrais dos efeitos dos

genes, ter consciência disso é indispensável para explicar mecanismos moleculares vinculados aos modelos genéticos.

Obviamente, o reconhecimento da necessidade para um mecanismo pelo qual os genes podem ser expressos no fenótipo só é possível se o aluno entender que o gene e a característica não são equivalentes e que o genótipo e o fenótipo atuam em diferentes níveis.

No geral, o modelo da simulação de borboleta mostrou, em primeiro lugar, ser uma ferramenta útil para o ensino-aprendizagem de conceitos científicos abstratos de difícil compreensão em genética e ideias contraintuitivas para os alunos. Ainda, o modelo foi capaz de despertar a motivação e atenção dos alunos para entender os conceitos científicos contemplados.

Em segundo lugar, ao considerar a avaliação pós-atividade, é possível dizer que a atividade proporcionou aos alunos melhor compreensão de que todos os organismos têm um conjunto de genes. Neste, cada um pode ter versões diferentes do mesmo gene, os alelos; que os alelos, por questões didáticas, são representados por meio de letras maiúsculas, minúsculas e, por vezes, com letras sobrescritas, e que as diferentes combinações de alelos (por exemplo, AA, Aa, aa) podem resultar na produção de diferentes proteínas que geram os diferentes tipos de fenótipos.

Em terceiro lugar, quase todos os alunos (17/19) declararam entender, ao final da atividade, que o fenótipo observável pode tanto estar associado à presença de determinada proteína nas células ou tecidos dos seres vivos quanto a sua ausência ou, ainda, à produção de uma proteína não funcional.

### **3.3.2 Caso Angelina Jolie**

Os avanços técnico-científicos na área de genética têm suscitado interesse social de vários âmbitos. A sociedade contemporânea tem sido confrontada com muitas questões decorrentes dos produtos e da tecnologia genética e os testes genéticos em saúde têm assumido posição de destaque no debate. Por exemplo, deveria uma pessoa saber que é predisposta ou tem uma doença genética que não pode preveni-la ou curá-la? Uma mãe grávida não passaria por um dilema emocional muito difícil por descobrir, através de teste genético, que há probabilidade de algo terrível vir a acontecer com o seu bebê e nada pode ser feito? Vale à pena ter testes genéticos em tudo? Um plano de saúde deve exigir teste genético para firmar contrato

com o cliente? Existe a possibilidade do compartilhamento desses testes entre empresas ao contratar funcionários, por exemplo, e isso vir a gerar discriminação genética? Você concorda com a investigação e/ou manipulação genética em medicina?

Essas questões só reforçam o argumento de que os alunos precisam desenvolver uma compreensão da base genética para serem capazes de participar desse debate bem informados e terem a possibilidade de tomada de decisões conscientes no que diz respeito às controvérsias relacionadas com a genética, fundamentadas em conclusões científicas e ponderações éticas e morais dessas questões.

Diante do exposto e por acreditar que a realização de testes genéticos se encaixa bem em contextos reais nos quais a sociedade constantemente tem recebido informações sobre o assunto, principalmente pela mídia, propus, nessa atividade, a discussão nas dimensões morais e éticas do desenvolvimento do conhecimento científico aplicado à medicina. O ponto de partida foi a decisão da atriz Angelina Jolie de se submeter a uma mastectomia bilateral profilática após descobrir que ela possuía uma mutação no gene BReast CAncer – *BRCA*.

Essa decisão foi veiculada, em 14 de maio de 2013, quando a própria atriz compartilhou no *The New York Times* sua decisão de se submeter ao procedimento de retirada total de seios após descobrir uma predisposição hereditária ao câncer de mama devido à mutação deletéria no gene BRCA1 (MEDEIROS, 2016).

A decisão da atriz impactou, globalmente, a sociedade no que diz respeito às atitudes das pessoas sobre opções de cuidados de saúde e “gerou dúvidas e expectativas na população em relação aos testes genéticos, à profilaxia e ao tratamento desses cânceres” (MEDEIROS, 2016, p. 1).

Os alunos leram a capa da edição de 20/05/2013, da revista *Época*, a qual trouxe a seguinte questão: “Foi a decisão certa? – retirar os seios mesmo sem câncer pode fazer sentido para Angelina Jolie – mas não para outras mulheres”. Depois participaram das discussões coletivas em sala de aula sobre o caso e foram orientados a opinarem sobre a decisão que teve Angelina Jolie de retirar os seios mesmo sem câncer e outras questões relacionadas.

A maioria dos alunos concordou que a decisão de Angelina Jolie foi certa porque possibilitou a ela prevenir o desenvolvimento de um câncer. No entanto, três alunos disseram que a decisão da artista foi precipitada porque não havia certeza do

desenvolvimento de câncer. A aluna Maira disse que “*ela podia ficar fazendo os testes tradicionais anuais em vez de tomar essa atitude drástica*”.

No geral, as opiniões dos alunos sobre os avanços científicos e tecnológicos evidenciaram que eles não se sentem ameaçados. Ao contrário, explicitaram atitudes positivas para as aplicações biotecnológicas e afirmaram que os avanços da ciência e da tecnologia são úteis e benéficos para a sociedade. No entanto, quando questionados se deveria haver limites sobre o que se pode ou não fazer em relação ao conhecimento científico-tecnológico, todos concordaram que sim, embora não conseguiram determinar como e quem deve estabelecê-los.

Em discussão paralela, todos discordaram da manipulação genética dos alimentos e expuseram que sempre escolheriam um alimento natural a um transgênico. O aluno Davi comentou que “*alterar a genética de um ser vivo é que nem brincar de Deus*”.

Numa apreciação da atividade, é possível inferir que a atividade motivou o debate sobre questões morais e éticas e estimulou a expressão de opiniões dos alunos acerca de informações e julgamentos de questões controversas em genética.

Em resumo, os alunos se colocaram como adversários da tecnologia de transgenia para produção de alimentos, apoiantes da biotecnologia para fins médicos e interessados em elevar seus conhecimentos sobre biotecnologia e avanços científicos.

### **3.3.3 A tomada de decisão sobre uma questão socioambiental**

O desenvolvimento de atividades em sala de aula a partir de situações-problemas relativas a contextos reais como ponto de partida para a aprendizagem vai ao encontro dos pressupostos do enfoque CTS (CACHAPUZ, 1999; AULER; DELIZOICOV, 2006, AULER, 2008). Dessa forma, as aulas em ciências podem confrontar os alunos com questões sociocientíficas que têm ligações conceituais, processuais e atitudinais às ciências e que podem ser percebidas por eles como socialmente significativa.

É possível imaginar que quando o aluno está envolvido numa atividade relacionada perceptivelmente ao seu mundo social, há a possibilidade de ele refletir conscientemente sobre diferentes questões envolvidas na situação-problema como, por exemplo, as científicas, políticas, morais, dentre outras.

Nessa perspectiva, o meio ambiente e seus problemas são temas de discussões locais e mundiais que ganharam os diferentes espaços da sociedade, principalmente a considerar o futuro da civilização e do bem-estar do planeta. Cotidianamente, a sociedade bem como seus representantes tomam decisões sobre questões ambientais diversas.

Assim sendo, essa atividade exigiu que os alunos analisassem um contexto legal, para propor medidas de compensação ou remediação do impacto ambiental resultante da fragmentação de habitats. O que ocorre devido à necessidade de abertura e pavimentação de uma rodovia que serviria para interligar uma comunidade isolada aos centros urbanos, possibilitando melhor desenvolvimento socioeconômico e acesso a serviços para aquela comunidade.

Professor: Como a perda da biodiversidade estaria associada ao risco da extinção das espécies?

João: Eu vou dar um exemplo, tipo assim, se tiver um desmatamento e uma espécie ficar isolada, quando houver alguma variação no ambiente ela vai ter que se adaptar, se não acontecer, sofre tipo uma mutação genética e ela pode acabar morrendo e ficar extinta [...] É que o ambiente causa as mutações.

Felipe: Eu tenho uma espécie numa floresta... daí passa uma construção no meio e separa a espécie... por exemplo, eu tenho uma espécie aqui nesse quadrado, aí passa uma construção aqui no meio e vai separar a espécie, né. Uma parte dessa espécie não se adapta e a outra se adapta. A espécie que se adaptou vai conseguir viver, porque ela vai ter variabilidade genética. A que estava isolada não vai ter variabilidade genética... porque está igual com igual e aquilo não vai gerar uma variabilidade e, no caso, vai acontecer uma extinção.

Professor: Mas essa adaptação da qual vocês estão falando é algo que acontece antes da alteração do ambiente ou depois?

Felipe: Professor, primeiro vem a estrada e depois vem a adaptação para aquelas novas condições.

Professor: É isso turma?

Turma: Sim.

Várias propostas foram encontradas nas respostas dos alunos. O aluno Carlos disse ser viável a construção de pontes ecológicas a fim de integrar as áreas fragmentadas. A aluna Beatriz escreveu que “*seria eficiente a construção de corredores ecológicos, possibilitando o progresso humano e a conservação da espécie*”. O aluno Pedro propôs a criação de uma reserva para proteger as espécies existentes no lugar. Já o aluno Marcos apontou como medida o “*desvio da rota, mesmo que aumentasse a rodovia, pois seria uma forma de não afetar à área*”. Ainda, a aluna Manuela registrou a necessidade de “*um estudo sobre as espécies do local*”.

para que houvesse uma melhor preservação”. Os estudantes Marcos e Felipe complementaram essas ideias, dizendo:

Marcos: Se a composição genética é parecida, então logo vai ter uma grande chance de aquela espécie ser extinta, aí se a composição é bem variada, aí já tem menos chance de ser extinta, daí a gente tem que conhecer a variedade genética das espécies.

[...]

Felipe: Então, professor, estava vendo aqui que a adaptação da qual falamos acontece antes da mudança no ambiente, porque estávamos pensando errado, é que a mudança ambiental vai selecionar aqueles que tem a variedade genética. É isso?

A tabela 2 mostra a distribuição de frequência das proposições dadas pelos alunos para essa atividade.

Tabela 2 – Frequência das proposições fornecidas pelos alunos para a atividade

<b>Propostas</b>	<b>Frequência</b>
Integrar as áreas fragmentadas.	12
Realizar o manejo de espécies.	9
Realizar estudos para garantir a sobrevivência das espécies.	8
Construir a rodovia em outro lugar.	2
Impedir a construção da rodovia.	5

Fonte: O autor.

Em geral, os achados da pesquisa mostram que uma parte dos alunos apresentaram dificuldades em compreender a situação enunciada em sua totalidade e globalidade. De um lado, propor o impedimento da construção da rodovia poderia dificultar ou mesmo impossibilitar o desenvolvimento social e urbano de comunidades isoladas. Por outro, a construção da rodovia em outro lugar poderia ser inviável por questões geográficas, econômicas e mesmo ambientais.

Sob outra perspectiva, a integração entre áreas fragmentadas, o manejo de espécies e a realização de estudos ambientais constantes são propostas que mostram uma compreensão mais holística dos relacionamentos complexos entre as questões sociais, econômicas e ambientais.

Em um sentido geral, as considerações que faço, nesta atividade, podem assumir duas formas: primeiro, a ponderação do desempenho positivo dos alunos, considerando a habilidade de desenvolver a atividade proposta e pontuando que é o conhecimento sólido sobre questões de biodiversidade e genética combinados à

apreensão de valores ambientais que podem levar as pessoas a mudarem a maneira como elas interagem com o ambiente; segundo, a apreciação do potencial da atividade em provocar o pensamento dos alunos para resolver uma questão do mundo real e a possibilidade de mediar a discussão sobre o fluxo genético e as interações entre as espécies.

### 3.4 AVALIAÇÃO GERAL DO MINICURSO PELOS PARTICIPANTES

A aplicação de um questionário, ao final do minicurso, foi importante para confirmar as percepções dos envolvidos. Assim, a análise das informações sistematizadas do questionário permitiu inferir sobre as percepções e atitudes dos alunos participantes, captando pontos de vista particulares e coletivos.

A tabela abaixo revela o quanto os alunos ficaram satisfeitos, numa escala de cinco pontos, para cada uma das atividades que experimentaram no minicurso. Observa-se que as atividades obtiveram conceitos altos nos questionários respondidos pelos alunos o que pode indicar que o design das atividades fornecidas se constitui em ferramentas apropriadas que permite aos alunos alcançar os resultados de aprendizagem necessários.

Como se observa, a atividade de simulação da diversidade entre indivíduos de borboletas fictícias, com enfoque genético, foi a que mais agradou os alunos. Ao contrário, a atividade que exigiu dos alunos a escolha de uma iniciativa mais adequada para a criação de vertebrados em cativeiro, entre cinco alternativas, só obteve média 6,9.

Tabela 3 – Avaliação das atividades do minicurso<sup>17</sup>

<b>Descrição objetiva das atividades</b>	<b>Média</b>
Utilizar modelo didático para simular a diversidade entre indivíduos.	10,00
Representar a estrutura química do DNA com peças de papel glossy.	9,84
Praticar atividades de laboratório como extração de DNA.	9,81
Escrever registros sobre determinados seres vivos em risco de extinção.	9,27
Utilizar sistema de bioinformática para resolver suposto crime ambiental.	9,09
Escrever uma carta sobre uma dada questão, envolvendo a biodiversidade.	8,92

<sup>17</sup> Neste quesito, os dezenove alunos respondentes tiveram que escolher uma opção, dentre cinco apresentadas, que melhor expressasse a avaliação particular em relação a cada atividade. Após a aplicação do questionário, foi determinada uma nota de correspondência entre as cinco alternativas do tipo escala Likert, isto é, péssimo (2), ruim (4), regular (6), bom (8), ótimo (10). Com isso, obteve-se uma média simples de cada atividade.

<b>Descrição objetiva das atividades</b>	<b>Média</b>
Opinar sobre a decisão de mastectomia tomada por Angelina Jolie.	8,63
Propor medida compensatória diante de impacto ambiental antropológico.	8,61
Explorar um espaço ao ar livre e coletar informação do meio explorado.	8,61
Considerar ações/atitudes a favor da biodiversidade.	8,50
Considerar afirmativas sobre a perda da biodiversidade genética.	8,46
Verificar a relação quantitativa entre bases nitrogenadas.	8,30
Relacionar matematicamente as bases nitrogenadas – regra de Chargaff.	8,15
Representar e organizar o conhecimento por meio de mapa conceitual.	8,00
Indicar uma iniciativa adequada para a criação de vertebrados em cativeiro.	6,90

Fonte: O autor.

A oportunidade de estudar os conhecimentos relacionados à biologia ou à genética foi assinalada pelos alunos como principais motivações que os levaram a participar do minicurso (tabela 4).

Tabela 4 – Principais motivações espontâneas que levaram os alunos a se inscrever no minicurso

<b>Motivos</b>	<b>Frequência</b>
Oportunidade de aprofundar conhecimentos biológicos.	12
Interesse por assuntos em biologia e/ou genética.	9
Auxiliar na preparação para o ENEM.	2
Qualificação do professor ministrante.	2
Certificado de participação.	2
Outros.	2

Fonte: O autor.

Para a aluna Helena, o mais interessante no minicurso foram as dinâmicas desenvolvidas e as diversas discussões entre os alunos e o professor: “*as discussões em roda foram bastante interessantes e as atividades também, pois nos proporcionaram momentos ricos de interação*”. Essa percepção também foi encontrada na maioria das respostas dos alunos participantes como se pode observar na tabela abaixo.

Tabela 5 – Aspectos mais relevantes do curso segundo a opinião dos alunos

<b>Opinião</b>	<b>Frequência</b>
Dinâmicas e atividades desenvolvidas.	14
Discussão entre os participantes.	10
Método de ensino.	3
Prática de laboratório.	2
Montar o esquema da estrutura do DNA.	1
Outros.	3

Fonte: O autor.

Ainda sobre essa questão, muitos alunos disseram que um dos principais diferenciais do minicurso foi o fato de que eles puderam expor abertamente e sem restrição o que conheciam sobre aquele determinado conteúdo e que, normalmente, esses espaços de discussão entre os alunos são reduzidos em aulas regulares. A consideração desses comentários e a ponderação geral das atividades desenvolvidas são suficientes para propor, inicialmente, que as concepções do cotidiano dos alunos são um ponto de partida eficaz pelo qual o conhecimento científico pode ser desenvolvido.

Outro item do questionário perguntou se os alunos incentivariam a participação de algum colega se soubessem que o minicurso seria ofertado novamente. Sobre isso, todos os alunos afirmaram que sim e as motivações principais incluem a aquisição de novos conhecimentos e o método inovador e motivador de ensino (tabela 6).

Tabela 6 – Frequência das razões apontadas pelos alunos para recomendar ou incentivar a participação de outro colega se o curso fosse novamente ofertado

<b>Razão</b>	<b>Frequência</b>
Aquisição de novos conhecimentos.	11
Método de ensino inovador e motivador.	8
Permissão do diálogo entre os participantes.	8
Qualidade do curso.	6
Esclarecimento de dúvidas.	3
Preparação para vestibular/ENEM.	2

Fonte: O autor.

Nesse ponto, é importante frisar que parece haver certo consenso entre os pesquisadores educacionais em relação ao argumento de que as dimensões motivacionais, sócio-afetivas e a relação dialógica impactam, significativamente, a aprendizagem do aluno. Desse modo, num processo de ensino-aprendizagem o professor deve levar em consideração não apenas a perspectiva cognitiva, mas também outras dimensões da aprendizagem (ALMEIDA, 2015).

Em sequência, os alunos escreveram, no questionário, as opiniões sobre o fascículo didático em relação aos textos disponibilizados. Neste item, os alunos mencionaram que os textos trazem informações bastante importantes, são compreensíveis e bem didáticos, com interligação com o mundo (tabela 7).

Tabela 7 – Opinião dos alunos participantes do curso sobre a parte textual dos fascículos

<b>Opinião</b>	<b>Frequência</b>
Informações bastante importantes.	16
Textos compreensíveis e bem didáticos.	15
Ligação do texto com o mundo.	9
Linguagem clara e objetiva.	5
Outros.	4

Fonte: O autor.

Por último, o questionário procurou saber dos alunos se eles gostariam de fazer algum outro comentário adicional. A maioria dos alunos ressaltou o grau de satisfação por ter participado do minicurso, por meio das seguintes declarações: “*textos excelentes*” (Ana), “*adorei passar por essa experiência*” (Pedro), “*todos os momentos foram prazerosos e legais*” (Júlia), “*cada atividade despertava cada vez mais meu interesse*” (João).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste trabalho foi investigar as contribuições da abordagem CTS no desenvolvimento de uma sequência de ensino envolvendo o ensino-aprendizagem de conteúdos conceituais, procedimentais e atitudinais em biodiversidade e genética no ensino médio.

Para isso, por meio dos encaminhamentos metodológicos desta pesquisa, uma sequência de ensino e um caderno didático foram planejados, elaborados e implementados no contexto da sala de aula ao longo de vinte horas aulas junto a estudantes do terceiro ano do ensino médio de uma escola da rede federal de ensino.

O estudo, na literatura científica e educacional, sobre o enfoque Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS) demonstrou uma posição de destaque nas bases teórico-metodológicas das produções científicas e educacionais em ciências. Além disso, o enfoque CTS, no ensino médio, encontra-se em consonância com os documentos curriculares nacionais e contribui com a formação de indivíduos cientificamente alfabetizados que reconhecem como a ciência, tecnologia e sociedade influenciam-se mutuamente, habilitando-os para usar o conhecimento nas tomadas de decisão no dia a dia.

Ao passo que executava a proposta, fiz a análise descritiva dos dados produzidos ao longo da intervenção didático-pedagógica por meio da discussão reflexiva sobre explicações e implicações decorrentes do desenvolvimento das atividades com os alunos participantes da pesquisa. Fiz, ainda, a análise resultante da aplicação de um questionário aos alunos, a qual demonstrou a aceitação da proposta com entusiasmo pelos participantes da pesquisa.

Tendo em vista os resultados apresentados neste trabalho, é possível dizer que a abordagem CTS se constitui como uma ferramenta pertinente para o ensino de biodiversidade e genética, tendo em vista a formação cidadã de estudantes de ensino médio. O que é possível pela possibilidade de oportunizar reflexões e discussões necessárias para o desenvolvimento de valores ético-morais, de atitudes comprometidas com a sustentabilidade ecológica; e de posições pessoais sobre questões socioambientais, tomando como base o conhecimento das relações e interações entre a ciência, a tecnologia e a sociedade.

Por outro lado, o desenvolvimento de sequências de ensino de conhecimentos científicos, tendo referência as suas aplicações sociais ou tecnológicas, pode

contribuir como estratégia didática inovadora e significativa nos processos de ensino-aprendizagem de conteúdos de biodiversidade e genética no ensino médio. E, por inferência, de outros conteúdos biológicos, porque os resultados empíricos, evidenciados na análise das atividades que os alunos realizaram ao longo da aplicação da sequência didática, demonstram qualitativamente que os alunos melhoraram significativamente sua compreensão em relação aos conteúdos trabalhados.

Embora considere as vantagens da implementação desta sequência didática, também há limitações no desenvolvimento de sequências didáticas e materiais com abordagem CTS. Dentre as quais destaco a questão da quantidade de tempo utilizado não ser compatível com os condicionantes intrínsecos à realidade escolar. Além disso, existe a pressão dos sistemas de avaliação convencionais que, por vezes, desencorajam os professores a trabalharem com seus alunos projetos, argumentação, discussões ou quaisquer estratégias de ensino que possa ser considerada como dispendiosa de tempo.

Ainda, cabe salientar que o produto gerado está apresentado nos anexos tal como foi desenvolvido e analisado na pesquisa, salvo algumas modificações. É importante reconhecer que, assim como todos outros produtos educativos, o caderno didático elaborado durante a pesquisa não está isento de limitações e principalmente que os produtos sempre podem ser melhorados a partir das reflexões dos envolvidos.

No entanto, com base na experiência vivenciada, posso afirmar que os esforços para a elaboração de propostas metodológicas diversificadas de ensino-aprendizagem que colaborem para melhores condições de ensino, em paralelo com um desenvolvimento profissional contínuo, com a formação para a cidadania, podem ajudar os professores a usar consistentemente a abordagem CTS em suas aulas e a desenvolver temas de interesse social, contextualizados e interdisciplinares.

Esta pesquisa proporcionou uma oportunidade para o desenvolvimento de estratégias para fins educacionais com ênfase em CTS. Assim, com base na avaliação do desenvolvimento da sequência didática, bem como nos materiais utilizados durante as aulas e, ainda, considerando os objetivos investigativos traçados, apresento as seguintes pontuações e considerações:

1. O ensino-aprendizagem de conteúdos de biodiversidade e genética, numa abordagem CTS, é um processo complexo que requer um planejamento cuidadoso e

adequado pelo professor, devendo contemplar, de forma clara, objetivos conceituais, procedimentais e atitudinais;

**2.** A identificação dos conhecimentos prévios dos alunos é um processo válido tanto para o planejamento de uma sequência didática quanto para a avaliação de sua eficácia ao considerar os seus objetivos educativos;

**3.** Os alunos de ensino médio podem lidar, de forma exitosa, com questões biológicas atuais, por exemplo, a crise da biodiversidade e as tecnologias da engenharia genética, conforme evidências desta pesquisa. Isso é importante para desenvolver uma população cientificamente alfabetizada que defenda a herança biológica mundial;

**4.** As representações concretas de estruturas biológicas tridimensionais são instrumentos facilitadores do processo educativo e podem ser utilizadas pelos alunos para a aprendizagem de conteúdos de complexidade diferente;

**5.** A construção de modelos didáticos não deve ser considerada uma atividade trivial, mas um esforço consistente para não desenvolver conceitos equivocados. Além disso, é importante salientar que os modelos didáticos não correspondem à realidade, mas são aproximações das ideias e teorias científicas e tecnológicas;

**6.** A utilização de ferramentas de bioinformáticas não somente colabora com a aprendizagem de conteúdos de biologia como biodiversidade e genética, mas também influenciam na compreensão das práticas científicas dos alunos, pois estes aprendem com a execução de atividades que simulam a realidade, oportunizando a aplicação de conhecimentos científicos em contexto real;

**7.** O ensino de biologia deve essencialmente considerar o modelo molecular do DNA no nível químico e biológico, oportunizando aos alunos o aprendizado, a compreensão dos conceitos mais abstratos de genética como, por exemplo, os alelos ou de processos moleculares.

**8.** A multiplicidade das funções das proteínas, incluindo seu papel na mediação dos efeitos genéticos deve ser mais enfatizada nos processos educativos e de forma interdisciplinar. As proteínas são estruturas químicas que estão envolvidas em todos os processos biológicos, no entanto, as concepções prévias dos alunos participantes da pesquisa sobre as funções das proteínas estavam aquém do esperado. O que pode ser resultado do ensino restritivo do papel enzimático das proteínas em detrimento de outros papéis centrais tão importantes quanto, por exemplo, sinalização, regulação, imunização e mediação.

**9.** Novas metodologias de ensino-aprendizagem ou estratégias didático-pedagógicas de apresentar o conhecimento biológico socialmente relevante em situação de sala de aula devem ser desenvolvidas com o intuito de promover a alfabetização científica de pessoas sobre assuntos centrais relacionados a temas biológicos, como a biodiversidade e a genética. Isso poderá proporcionar os alunos melhor compreensão do mundo em que vivem, fortalecendo as conexões entre o que se aprende na escola e a situação da vida real fora da escola.

Ao concluir esta pesquisa, tenho que considerar que novas pesquisas sobre desenvolvimento de sequências didáticas com abordagem CTS devem ser realizadas em diferentes níveis de educação ou espaços educativos, contemplando outras temáticas biológicas, e pautando-se, por exemplo, na observação e descrição dos caminhos cognitivos dos alunos mediante atividades que componham a sequência, com possibilidades de render informações valiosas para o campo do ensino de ciências.

Ainda, outras questões permanecem ou podem ser aprofundadas em estudos posteriores, dentre as quais destaco: Como a aprendizagem em contexto CTS afeta a criatividade dos estudantes e a capacidade argumentativa diante de situações de tomada de decisão? Que possibilidades de ganhos cognitivos, afetivos, axiológicos ou outras formas existem no ensino com abordagem CTS em contrastes ao ensino com abordagem tradicional? Que referências ou aspectos devem ser considerados em processos avaliativos de ensino-aprendizagem com abordagem CTS?

Essas questões não expressam desídia desta pesquisa, porém fazem indicação de possíveis investigações educacionais, que poderão ser tomadas em futuros trabalhos de pesquisa.

Finalmente, ressalto a importância de avançar nos estudos e pesquisas a fim de melhor compreender as possibilidades e implicações do ensino-aprendizagem de conteúdos biológicos significativos na vida de professores e alunos. Acredito que, assim, seja possível a esses atores do processo educativo fazer escolhas conscientes e fundamentadas, visando a um futuro melhor para todas as espécies com quem partilhamos este planeta extraordinário.

## REFERÊNCIAS

- ABREU, T. B.; FERNANDES, J. P.; MARTINS, I. Levantamento sobre a produção CTS no Brasil no período de 1980-2008 no campo de ensino de ciências. **Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, v. 6, n. 2, p. 3-32, 2013.
- ACEVEDO DÍAZ, J. A. Educación tecnológica desde una perspectiva CTS: una breve revisión del tema. **Alambique: didáctica de las ciencias experimentales**, Barcelona, v. 2, n. 3, p. 75-84, 1995.
- AIKENHEAD, G. S. What is STS science teaching? In: SOLOMON, J., AIKENHEAD, G. **STS education: international perspectives on reform**. New York: Teachers College Press, p.47-59, 1994.
- AIRES, L. **Paradigma qualitativo e práticas de investigação educacional**. Universidade Aberta, 2011. ISBN: 978-989-97582-1-6.
- ALMEIDA, E. F. S. de. **Relação professor-aluno na formação inicial docente: representações sociais construídas**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Educação. Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2015.
- AULER, D. Enfoque ciência-tecnologia-sociedade: pressupostos para o contexto brasileiro. **Ciência & Ensino** (ISSN 1980-8631), v. 1, 2008.
- AULER, D. **Interações entre ciência-tecnologia-sociedade no contexto da formação de professores de ciências**. 2002. 248 f. Tese. (Doutorado em Educação Científica e Tecnológica). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2002.
- AULER, D.; BAZZO, W. A. Reflexões para a implementação do movimento CTS no contexto educacional brasileiro. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 7, n. 1, p. 1-13, 2001.
- AULER, D.; DELIZOICOV, D. Alfabetização científico-tecnológica para quê? **Ensaio: pesquisa em educação em ciências**. Belo Horizonte, v. 3, n. 1, p. 105-115, 2001.
- AULER; DELIZOICOV, D. **Educação CTS: articulação entre pressupostos do educador Paulo Freire e referenciais ligados ao movimento CTS**. Les relaciones CTS en la Educación Científica, 2006a.
- BAZZO, W. A.; VON LINSINGEN, I.; PEREIRA, L. T. V. (Ed.). **Introdução aos estudos CTS (ciência, tecnologia e sociedade)**. Madrid: Organización dos Estados Iberoamericanos (OEI), 2003.
- BELEI, R. A. et al. O uso de entrevista, observação e videogravação em pesquisa qualitativa. **Cadernos de educação**, n. 30, 2008.
- BELMIRO, M.S.; BARROS, M. D. M. 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.

BOGDAN, R.C.; BIKLEN, A. K. **Investigação qualitativa em educação: uma introdução à teoria e aos métodos**. Portugal: Porto Editora. 1994.

BRASIL. **Lei de diretrizes e bases da educação nacional (LDB)**. Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996, que estabelece as diretrizes e bases da educação nacional. 12. ed. Brasília: Câmara dos Deputados, Edições Câmara, 2016a. (Série legislação; n. 254).

BRASIL. Lei nº 11.892, de 29 de dezembro de 2008. **Diário Oficial da União**. Seção 1, de 30 de dezembro de 2008. Brasília, DF, 2008b.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. **Base Nacional Comum Curricular – BNCC 2ª versão rev.** Brasília: MEC/SEB, 2016b.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. **Orientações curriculares para o ensino médio: ciências da natureza, matemática e suas tecnologias**. Brasília: MEC/SEB, 2006.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica (Semtec). **Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio**. Brasília: MEC/Semtec, 2000.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **PCN+ Ensino Médio: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**. Brasília: MEC/Semtec, 2004.

BRASIL. Senado Federal. Subsecretaria de Edições Técnicas. **Convenção sobre Diversidade Biológica e Legislação Correlata**. Brasília: SF/SET, 2008.

CACHAPUZ, A. et al. Do estado da arte da pesquisa em educação em ciências: linhas de pesquisa e o caso “Ciência-Tecnologia-Sociedade”. **ALEXANDRIA Revista de educação em ciência e tecnologia**, p. 27-49, 2008.

CACHAPUZ, A. F. Epistemologia e Ensino das Ciências no Pós-Mudança Conceptual: Análise de um Percurso de Pesquisa. In: Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 2, Valinhos. Atas. Valinhos, 1999.

CAMPIANI, M. A. Pesquisa em formação contínua indicando passos na extensão em formação contínua. In: BARBOSA, Raquel Lazzari Leite (org.). **Formação de educadores: artes e técnicas, ciências políticas**. São Paulo: Editora UNESP, 2006.

CARDOSO-SILVA, C. B.; OLIVEIRA, A. C. Como os livros didáticos de Biologia abordam as diferentes formas de estimar a biodiversidade? **Ciência & Educação (Bauru)**, vol.19, n.1, pp.169-180, 2013.

CHAER, G.; DINIZ, R. R. P.; RIBEIRO, E. A. A técnica do questionário na pesquisa educacional. **Evidência, Araxá**, v. 7, n. 7, p. 251-266, 2011.

CHRISPINO, A. et al. A área CTS no Brasil vista como rede social: onde aprendemos? **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 19, n. 2, p. 455-479, 2013.

CONRADO, D. M. et al. Ensino de biologia a partir de questões sociocientíficas: uma experiência com ingressantes em curso de licenciatura. **Indagatio Didactica**, v. 8, n. 1, 2016.

CORRÊA, A. L. L.; ARAÚJO, M. S. T. Aspectos do enfoque Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS) no mapeamento das produções acadêmicas sobre a educação profissional de nível técnico no âmbito das instituições federais de educação tecnológica. **Educação & Tecnologia**, v. 18, n. 3, 2015.

COUTINHO, C. P., et al. Investigação-acção: metodologia preferencial nas práticas educativas. **Revista Psicologia, Educação e Cultura**, v. 13, nº 2, p. 355- 380, 2009.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A. P. **Física**. São Paulo: Cortez, 1991.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A.; PERNAMBUCO, M. M. **Ensino de ciências: fundamentos e métodos**. São Paulo: Cortez, 2002.

DELORS, J. **Learning: the treasure within**. Paris: UNESCO Publishing. 1996.

FONSECA, M. de J. da C. F. A biodiversidade e o desenvolvimento sustentável nas escolas do ensino médio de Belém (PA), Brasil. **Educ. Pesqui.** [online], vol. 33, n. 1, pp. 63-79, 2007.

FOUREZ, G. **Alfabetización científica y tecnológica: acerca de las finalidades de la enseñanza de las ciencias**. 1. ed. 3. reimp. [Traducción de Elsa Cómez de Sarría]. Buenos Aires: Ediciones Colihue, 2005.

FRAIHA-MARTINS, F. **Significação do ensino de ciências e matemática em processos de letramento científico-digital**. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Pará. Instituto de Educação Matemática e Científica. Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências e Matemáticas, Belém, 2014.

FRANCO, M. A. S. **Pedagogia da pesquisa-ação**. Educação e pesquisa, v. 31, n. 3, p. 483-502, 2005.

GAGLIARDI, R. Los conceptos estructurales en el aprendizaje por investigación. **Enseñanza de las ciencias**, v. 4, n. 1, p. 30-35, 1986.

GIORDAN, A.; VECCHI, G. **As origens do Saber: Das Concepções dos aprendentes aos Conceitos Científicos**. Porto Alegre, 1996.

GOLDBACH, T. et al. Para repensar o ensino de genética: levantamento e análise da produção acadêmica da área do ensino de ciências e Biologia no Brasil. **Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas**, n. Extra, p. 1830-1834, 2009.

GOLDBACH, T.; MACEDO, A. G. Olhares e tendências na produção acadêmica nacional envolvendo o ensino de genética e de temáticas afins: Contribuições para uma nova “genética escolar”. **Anais do VI Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências**, 2007.

GONZÁLEZ GARCÍA, M. I.; LÓPEZ CERREZO, J. A.; LUJÁN LÓPEZ, J. L. (Orgs.). **Ciencia, Tecnología y Sociedad: una introducción al estudio social de la ciencia y la tecnología**. Madrid: Editorial Tecnos S.A., 1996, pp. 225–252.

GRANDI, L. A. et al. Concepções de monitores e alunos sobre o conceito de biodiversidade em uma atividade e trabalho de campo. **Cadernos CIMEAC**, Ribeirão Preto, v. 4, n. 1, p. 5-21, 2014.

IFMA. Comissão Própria de Avaliação – CPA. **Relatório de Autoavaliação Institucional**. 2016b.

IFMA. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão. **Plano de Desenvolvimento Institucional: 2014 – 2018**. São Luís, 2014.

IFMA. Portal IFMA. **Gestores redefinem missão institucional**. 2016a. Disponível em: <<https://portal.ifma.edu.br>>. Acesso em: 12 mai. 2017.

JOAQUIM, L. M.; EL-HANI, C. N. A genética em transformação: crise e revisão do conceito de gene. **Scientiae Studia**, v. 8, n. 1, p. 93-128, 2010.

JUSTINA, L. A. D.; RIPPEL, J. L. Ensino de Genética: Representações da Ciência da Hereditariedade no Nível Médio. In: **Anais do IV Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**. Bauru: ABRAPEC - São Paulo, 2003.

KRASILCHIK, M. **Ensino de Ciências e Cidadania**. São Paulo: Moderna.

KRASILCHIK, M. **Práticas do ensino de biologia**. 4. ed. rev. e ampl. Editora da Universidade de São Paulo. 2008.

KRASILCHIK, M., MARANDINO, M. **Ensino de ciências e cidadania**. 2. ed. São Paulo: Moderna. 2007. (Cotidiano escolar: ação docente)

LATORRE BELTRÁN, A. **La investigación-acción: conocer y cambiar la práctica educativa**. 3. ed. Editorial Graó, de IRIF. S.L, 2005. Disponível em <http://pt.calameo.com/read/0039996618d631852ca12>. Acesso em: 10 jun. 2016.

LEMGRUBER, M. S. A. **Educação em Ciências físicas e biológicas a partir das teses e dissertações (1981 a 1995): uma história de sua história**. [Doutorado em Educação]. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 184p., 1999.

LISITA, V.; ROSA, D.; LIPOVETSKY, N. Formação de professores e pesquisa: uma relação possível. In: ANDRÉ, Marly (org.). **O papel da pesquisa na formação e na prática dos professores**. 12. ed. Campinas, SP: Papirus, 2012.

LÓPEZ CERREZO, J. A. Ciencia, Tecnología y Sociedad: el estado de la cuestión en Europa y Estados Unidos. **Revista Iberoamericana de Educación**, n. 18, p. 41-68, 1998.

LÜDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. A. **Pesquisa em educação: abordagens qualitativas**. 3. ed. Editora Pedagógica e Universitária, 2015.

- MALLMANN, E. M. Pesquisa-ação educacional: preocupação temática, análise e interpretação crítico-reflexiva. **Cadernos de Pesquisa**, v. 45, n. 155, p. 76-98, 2015.
- MARANDINO, M.; SELLES, S. E.; FERREIRA, M. S. **Ensino de biologia**: histórias e práticas em diferentes espaços educativos. São Paulo: Cortez, 2009.
- MARQUES, R. P. **A pesquisa sobre Biodiversidade no ensino de ciências (Biologia)**: caminhos e tendências a partir dos descritores do Centro de Documentação em Ensino de Ciências – CEDOC. Graduação em Ciência da Natureza. Universidade Estadual da Paraíba, Araruna, 2015.
- MARTINS, C.; OLIVEIRA, H. T. Biodiversidade no contexto escolar: concepções e práticas em uma perspectiva de Educação Ambiental crítica. **Revista Brasileira de Educação Ambiental (RevBEA)**, v. 10, n. 1, p. 127-145, 2015.
- MEDEIROS, K. K. P. et al. Angelina Jolie: explorando risco em relação ao câncer de mama. **Revista de Medicina e Saúde de Brasília**, v. 5, n. 1, 2016.
- MÉHEUT, M. Teaching-learning sequences tools for learning and/or research. In: Boersma et al. (Ed.). **Research and the quality of science education**. (p. 195-207). Dordrecht: Springer. 2005.
- MELO, J. R.; CARMO, E. M. Investigações sobre o ensino de Genética e Biologia Molecular no Ensino Médio brasileiro: reflexões sobre as publicações científicas. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 15, n. 3, p. 593-611, 2009.
- MEYER, L. M. N.; BONFIM, G. C.; SANTOS, V. C.; EL-HANI, C. N. Como Ensinar a Estudantes Universitários de Ciências Biológicas e de Ciências da Saúde sobre a Crise do Conceito de Gene? In: VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. **Atas do VIII ENPEC**. 2011.
- MOREIRA, M. A. Abandono da narrativa, ensino centrado no aluno e aprender a aprender criticamente. **Ensino, Saúde e Ambiente**, v. 4, n. 1, 2011.
- MOTOKANE, M. T.; KAWASAKI, C. S.; OLIVEIRA, L. B. Por que biodiversidade pode ser um tema para o ensino de ciências? In: MARANDINO, M. **Olhares sobre os diferentes contextos da biodiversidade**: pesquisa, divulgação e educação. São Paulo: GEENF/FEUSP/INCTTOX, p. 30-60, 2010.
- NÓVOA, A. Os professores e as histórias da sua vida. In: NÓVOA, A. (Org.). **Vidas de professores**. 2. ed. Porto: Porto Editora, 1995.
- NSTA. National Science Teachers Association. **Teaching Science and Technology in the Context of Societal and Personal Issues**. Position Statement. Arlington-Virginia, 2010. Disponível em: <<http://eric.ed.gov/?id=ED520336>>. Acesso em: 03 jun. 2016.
- NUNES, A. O. **Possibilidades de enfoque CTS para o ensino superior de química: proposta de uma abordagem para ácidos e bases**. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Programa de Pós-Graduação em Química. Natal, RN, 226 f., 2014.

- OLIVEIRA, A. D.; MARANDINO, M. A biodiversidade no saber sábio: investigando concepções de biodiversidade na literatura e entre pesquisadores. **Revista de Educação, Ciências e Matemática**, v. 1, n. 1, 2011.
- OLIVEIRA, T. B.; SILVA, C. S. F., ZANETTI, J. C. Pesquisas em Ensino de Genética (2004-2010). In.: **VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Ciência**. Campinas. Anais... Campinas: SBFHiB, 2011.
- OROZCO, Y. A. O ensino da biodiversidade: tendências e desafios nas experiências pedagógicas. *Góndola*, **Enseñ Aprend Cienc**, 12(2), 173-185. 2017. doi: 10.14483/23464712.11599. 2017.
- PAIVA, A. L. B.; MARTINS, C. M. 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.
- PEIXE, P. D. et al. Os temas DNA e Biotecnologia em livros didáticos de biologia: abordagem em ciência, tecnologia e sociedade no processo educativo. **Acta Scientiae**, v. 19, n. 1, 2017.
- 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 (Bauru)**, v. 13, n. 1, p. 71-84, 2007.
- REECE, J. B. et al. **Biologia de Campbell**. 10. ed. Trad. Anne D. Villela et al. Porto Alegre: Artmed, 2015.
- RICKEFLES, R. E. **A economia da natureza**. 6. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2010.
- RODRIGUES, E. A. **A Genética no Ensino Fundamental**: análise de um processo de ensino a partir da perspectiva CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade). Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Naturais e Matemática. Universidade Regional de Blumenau. 2015.
- SADAVA, D. et al. **Vida: A Ciência da Biologia**. Volume 2: Evolução, Diversidade e Ecologia. 8. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.
- SANTOS, F. D. **Alterações Globais: Os desafios e os riscos presentes e futuros**. Lisboa: Fundação Francisco Manuel dos Santos, 2016. ISBN 978-989-8838-14-8.
- SANTOS, W. L. P.; MORTIMER, E. F. Abordagem de aspectos sociocientíficos em aulas de ciências: possibilidades e limitações. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 14, n. 2, p. 191-218, 2009.
- SANTOS, W. L. P.; MORTIMER, E. F. Tomada de decisão para ação social responsável no ensino de ciências. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 7, n. 1, p. 95-111, 2001.
- SANTOS, W. L. P.; MORTIMER, E. F. Uma análise de pressupostos teóricos da abordagem CTS (Ciência - Tecnologia - Sociedade) no contexto da educação

brasileira. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)**, Belo Horizonte, v. 2, n. 2, p. 110-132, dez. 2002.

SASSERON, L. H.; CARVALHO, A. M. P. Alfabetização científica: uma revisão bibliográfica. **Investigações em ensino de ciências**, v. 16, n. 1, p. 59-77, 2011.

SCARANO, F. R.; GASCON, C.; MITTERMEIER, R. A. O que é biodiversidade? **Scientific American. Brasil. Edição especial**, n. 39, 2010.

SEVERINO, A. J. **Metodologia do trabalho científico**. 23. ed. rev. e atual. São Paulo: Cortez, 2007.

SILVA, E. J.; MACIEL, M. D. O tema sociocientífico biodiversidade nas situações de aprendizagem do currículo do estado de São Paulo. **Indagatio Didactica**, v. 8, n. 1, 2016.

SLONGO, I. I. P. **A produção acadêmica em ensino de biologia**: um estudo a partir de teses e dissertações. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis: UFSC, 2004.

SOLOMON, J. **Teaching science, technology and society**. Buckingham: Open University Press, 1993. Disponível em: <http://eric.ed.gov/?id=ED371953>. Acesso em 10 abr. 2016.

SOUSA, G. P. **Educação CTS e Genética, elementos para a sala de aula**: potencialidades e desafios. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Educação Científica e Formação de Professores. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. Jequié, 2013.

SOUZA, N. F. L. L. **Contribuições de uma proposta multimídia baseada no enfoque Ciência, Tecnologia e Sociedade para o ensino das bases genéticas e imunológicas do sistema sanguíneo ABO humano**. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática). Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2010.

STENHOUSE, L. **La investigación como base de la enseñanza**. 5. ed. Madrid: Ediciones Morata, 2004.

STRIEDER, R. B. **Abordagem CTS e ensino médio: espaços de articulação**. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física). Universidade de São Paulo. São Paulo, 2008.

STRIEDER, R. B. **Abordagens CTS na educação científica no Brasil: sentidos e perspectivas**. São Paulo/SP, 2012. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo, Faculdade de Educação. Instituto de Química e Instituto de Biociências. 2012.

TEIXEIRA, P. M. M. **Pesquisa em Ensino de Biologia no Brasil [1972-2004]**: um estudo baseado em dissertações e teses. Tese (Doutorado). Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Educação. Campinas, SP, Brasil, 2008.

TEMP, D. S. **Genética e suas aplicações**: identificando o tema em diferentes contextos educacionais. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Santa Maria.

Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências: Química da Vida e Saúde, RS, 2014.

TRIPP, D. Pesquisa-ação: uma introdução metodológica. **Educação e Pesquisa**, São Paulo, v. 31, n. 3, p. 443-466, set./dez. 2005.

TRUCCOLO, F.; VON DENTZ, V. Mapeamento de pesquisas (teses e dissertações) sobre o Ensino de Ciências da Natureza (Física, Química e Biologia) nos níveis fundamental e médio. **Revista Técnico Científica do IFSC**, Florianópolis, SC, v. 2, n. 1, p. 90-99, 2010.

VACCAREZZA, L. S. Ciencia, Tecnología y Sociedad: el estado de la cuestión en América Latina. **Ciência & Tecnologia Social**, v. 1, n. 1, 2011.

VANNUCCHI, A. I. A relação Ciência, Tecnologia e Sociedade no Ensino de Ciências. In: CARVALHO, A.M.P. (Org.). **Ensino de Ciências: unindo a pesquisa e a prática**. 5ª reimpr. São Paulo: Cengage Learning, p. 77-92, 2012.

VASCONCELOS, C.; PRAIA, J. F.; ALMEIDA, L. S. Teorias de aprendizagem e o ensino/aprendizagem das ciências: da instrução à aprendizagem. **Psicol. esc. educ.**, Campinas, v. 7, n. 1, p. 11-19, jun. 2003.

VIEIRA, C. T.; VIEIRA, R. M. Construção de práticas didático-pedagógicas com orientação CTS: impactos de um programa de formação continuada de professores de ciências do Ensino Básico. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 11, n. 2, p. 191-211, 2005.

VIEIRA, M. S. **Abordagem genética e imunofisiológica dos sistemas ABO e RH para melhor compreensão e ensino da eritroblastose fetal**. Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática. Belo Horizonte, 2013.

VILCHES, A.; SOLBES, J.; GIL-PÉREZ, D. Alfabetización científica para todos contra ciencia para futuros científicos. **Alambique**, Barcelona, v. 41, p. 89-98, 2004.

YAGER, R. E., **Science/Technology/Society as Reform in Science Education**. State University of New York. Press: Albany, 1996. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=vy03nZzml9AC> Acesso em: 15 de dezembro de 2017.

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

ZICA, J. P. U. A crise do conceito de gene. **Pólemos**, Brasília, vol. 2, n. 4, dezembro de 2013.

ZIMAN, J. **Teaching and Learning About Science and Society**. Cambridge, Cambridge University Press, 1980. Disponível em: [books.google.com](https://books.google.com). Acesso em: 12. jun. 2016.

## APÊNDICE A – TERMO DE AUTORIZAÇÃO DA ESCOLA

Eu, Vilson de Almeida Sousa, responsável pelo Instituto Federal do Maranhão – IFMA Campus Buriticupu, no exercício do cargo de Diretor Geral, ratifico a autorização verbal concedida ao Professor Elson Silva de Sousa para realizar, nas dependências do Campus Buriticupu, uma intervenção didático-pedagógica como parte integrante da pesquisa de Mestrado Profissional sob a orientação da Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ana Cristina Pimentel Carneiro de Almeida. A pesquisa é intitulada *Ensino-aprendizagem de conteúdos de biodiversidade e genética com ênfase em Ciência, Tecnologia e Sociedade* e é vinculada ao Instituto de Educação Matemática e Científica – IEMCI da Universidade Federal do Pará – UFPA.

Ao assinar este Termo de Autorização, estou ciente que:

- a) Concedo ao professor, na condição de pesquisador, acesso livre à Instituição para que este desenvolva a aplicação de uma sequência didática com um grupo de aproximadamente 30 estudantes, regularmente matriculados no terceiro ano do ensino médio, turno matutino;
- b) A intervenção didático-pedagógica ocorrerá em um minicurso no período vespertino com duração de até cinco encontros. O estudante só poderá participar como sujeito da pesquisa se houver a autorização do seu responsável legal.
- c) Os dados produzidos durante os encontros do minicurso ficarão sob a posse do pesquisador e o conteúdo adquirido será destinado a fins estritos de pesquisa acadêmica e científica.
- d) Obtive todas as informações necessárias quanto aos procedimentos, assim como os seus objetivos e finalidades da pesquisa para poder decidir conscientemente sobre a autorização da referida pesquisa na Instituição.
- e) Este Termo de Autorização é feito em duas vias, sendo que uma permanecerá em meu poder e outra com o pesquisador responsável.

Buriticupu-MA, \_\_\_/\_\_\_/2017.

---

Assinatura do Diretor

## APÊNDICE B – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Prezado(a) Responsável pelo Estudante \_\_\_\_\_

Sou Professor de Biologia do IFMA Campus Buriticupu e atualmente curso o Mestrado Profissional do Instituto de Educação Matemática e Científica – IEMCI da Universidade Federal do Pará – UFPA. Este instrumento tem por objetivo convidar o Estudante citado para participar voluntariamente da pesquisa acadêmica intitulada “Ensino-aprendizagem de conteúdos de biodiversidade e genética com ênfase em Ciência, Tecnologia e Sociedade” sob a orientação da Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ana Cristina de Almeida.

O estudo é importante porque se espera trazer contribuições para a melhoria das aprendizagens de estudantes do ensino médio, ampliando a compreensão em genética e biodiversidade como uma linguagem científica e suas relações com a tecnologia e a sociedade.

Para tanto, um conjunto de seis aulas com atividades variadas será ministrada a estudantes que estão cursando o terceiro ano do ensino médio no IFMA Campus Buriticupu. As aulas acontecerão na instituição, no período vespertino, por três semanas. A participação do estudante, nesta pesquisa, consiste em assistir às aulas, realizando as atividades escolares planejadas. Não haverá nenhum benefício material ou financeiro por conta de participação. No entanto, o estudante poderá adquirir aprendizagens sobre conteúdos de genética e biodiversidade no decurso das aulas.

Durante os encontros, serão produzidos dados na forma de questionários, entrevistas, material audiovisual e produções escolares do estudante. É garantida a confidencialidade, a privacidade e o anonimato das informações obtidas, ou seja, o estudante não será identificado em nenhuma publicação que possa resultar da dissertação. Não há riscos previsíveis quanto à participação.

Se você tiver alguma dúvida em relação ao estudo, poderá entrar em contato comigo pelo telefone (98) 98153-2381, no e-mail: elson.silva.es@gmail.com, ou pessoalmente no Instituto.

Se você estiver de acordo em autorizar a participação do estudante, sabendo que não haverá nenhum tipo de constrangimento se não autorizar, assine o presente documento em duas vias de igual teor e forma, ficando uma em sua posse.

(XX) Autorizo a participação do estudante sob minha responsabilidade e estou ciente que poderei retirar, a qualquer momento, meu consentimento ou interromper a participação do estudante.

(XX) Não autorizo.

Buriticupu-MA, \_\_\_\_/\_\_\_\_/2017.

Assinatura do Pesquisador \_\_\_\_\_

Assinatura do Estudante \_\_\_\_\_

Assinatura do Responsável \_\_\_\_\_

## APÊNDICE C – QUESTIONÁRIO AOS PARTICIPANTES DO MINICURSO

1. Qual é o seu nome e sua idade?
2. Em geral, para entender e aprender as matérias, na escola, você acha que tem  
( ) facilidade ( ) dificuldade
3. O que você MAIS gosta na escola (você pode marcar mais de uma opção)?  
( ) estudar ( ) turma, colegas ( ) professores ( ) merenda  
( ) esporte, jogos ( ) recreio ( ) outro \_\_\_\_\_
4. O que você MENOS gosta na escola (você pode marcar mais de uma opção)?  
( ) estudar ( ) turma, colegas ( ) professores ( ) merenda  
( ) esporte, jogos ( ) recreio ( ) outro \_\_\_\_\_
5. Cite duas disciplinas que você MAIS gosta. \_\_\_\_\_
6. Cite duas disciplinas que você MENOS gosta. \_\_\_\_\_
7. Inicialmente, por que você decidiu participar do minicurso?
8. Em sua opinião, quais foram o(s) aspecto(s) mais relevantes do curso: textos apresentados, discussões entre os participantes, possibilidades de abordagens, as atividades propostas, outros? Justifique.
9. Em sua opinião, esse curso deveria ser ofertado outras vezes? E, se for, você recomendaria ou incentivaria a participação de algum colega seu no curso? Por quê?
10. Durante o curso, qual(is) foi(ram) o(s) momento(s) de que você MAIS gostou? Por quê?
11. Durante o curso, qual(is) foi(ram) o(s) momento(s) de que você MENOS gostou? Por quê?

12. Como você avaliaria cada uma das atividades desenvolvidas durante o curso?

Atividade	Péssimo	Ruim	Regular	Bom	Ótimo
1.1. Escrever registros sobre determinados seres vivos em risco de extinção.					
1.2. Escrever uma carta sobre uma dada questão envolvendo a biodiversidade.					
1.3. Considerar ações/atitudes a favor da biodiversidade.					
1.4. Explorar um espaço ao ar livre e coletar informação do meio explorado.					
1.5. Indicar uma iniciativa adequada para a criação de vertebrados em cativeiro.					
1.6. Considerar afirmativas sobre a perda da biodiversidade genética.					

2.1. Representar a estrutura química do DNA com peças de papel glossy.					
2.2. Praticar atividades de laboratório como extração de DNA.					
2.3. Utilizar sistema de bioinformática para resolver suposto crime ambiental (Bold System).					
3.1. Utilizar modelo didático para simular a diversidade entre indivíduos (borboleta).					
3.2. Relacionar matematicamente as bases nitrogenadas – regra de Chargaff.					
3.3 Verificar a relação quantitativa entre bases nitrogenadas.					
3.4 Opinar sobre a decisão de mastectomia tomada por Angelina Jolie.					
3.5 Propor medida compensatória diante de impacto ambiental antropológico.					
3.6 Representar e organizar o conhecimento através de mapa conceitual.					

**13.** Que critério ou consideração você utilizou para fazer a avaliação acima?

**14.** Você gostou dos textos lidos e/ou abordados no curso? Você acha que os textos estão adequados ao público destinado (aluno de ensino médio)? Recomendaria alteração neles? Justifique.

**15.** Você acha que no curso houve alguma situação diferenciada comparada com as situações rotineiras da sala de aula normal? Justifique.

**16.** Se você soubesse antecipadamente sobre tudo o que aconteceu durante o curso, mesmo assim, decidiria por cursá-lo? Justifique.

**17.** Para finalizar, gostaria de fazer algum outro comentário?

## **APÊNDICE D – CADERNO DIDÁTICO**



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE EDUCAÇÃO MATEMÁTICA E CIENTÍFICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DOCÊNCIA EM EDUCAÇÃO EM  
CIÊNCIAS E MATEMÁTICAS – MESTRADO PROFISSIONAL

**Caderno Didático**

# **Biodiversidade Genética**



**Elson Silva de Sousa**  
*Mestrando*

**Ana Cristina Pimentel Carneiro de Almeida**  
*Professora Orientadora*

## AUTORES



### **Elson Silva de Sousa**

É professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão (IFMA), lecionando disciplinas biológicas em Cursos Técnicos e no Curso de Licenciatura de Biologia do IFMA, Campus Buriticupu. Aluno do mestrado profissional do Programa de Pós-Graduação em Docência em Educação em Ciências e Matemáticas (PPGDOC). Possui graduação em Ciências Biológicas com especialização em Metodologia de Ensino em Ciências Biológicas (UNIASSELVI/SC), Especialização em Ensino de Genética (UEMA) e em Gestão Interdisciplinar do Meio Ambiente e Educação Ambiental (IESFMA). Dedicar-se a

investigações educacionais sobre o ensino-aprendizagem de conteúdos biológicos com enfoque Ciência Tecnologia-Sociedade (CTSA) na educação básica.



### **Ana Cristina Pimentel Carneiro de Almeida**

É professora efetiva do Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências e Matemáticas (PPGECM) e do Programa de Pós-Graduação em Docência em Educação em Ciências e Matemáticas (PPGDOC), ambos do Instituto de Educação Matemática e Científica (IEMCI), da Universidade Federal do Pará (UFPA). É vice coordenadora do Grupo de Estudos em Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente (GECTSA/PPGECM). Lidera o Laboratório de Ensino de Atividades Lúdicas (LUDLAB) e coordena o Grupo de Estudos de Ludicidade (GELUD). Possui graduação em Educação Física (UFRRJ - 1984), Especialização em Psicologia dos

Distúrbios de Conduta (1986) e em Psicomotricidade Relacional Sistêmica (1998). Mestrado em Educação Física (UFSC - 2000) e Doutorado em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido (UFPA - 2005), com obtenção do título de Doutora em Ciências: Desenvolvimento Socioambiental. Disciplinas e Temas de atuação na Educação em Ciências (Meio Ambiente e Formação Docente, Estudo de Caso, Relações entre Ciência, Sociedade e Cidadania, Prática antecipada à docência em espaços formais de ensino de ciências, matemática e linguagens, Tendências de pesquisa).

## REALIZAÇÃO



**BELÉM, 2017**

# APRESENTAÇÃO

Este Caderno Didático é um produto educacional, fruto de um estudo científico desenvolvido no Programa de Pós-graduação em Docência em Educação em Ciências e Matemáticas (PPGDOC), do Instituto de Educação Matemática e Científica (IEMCI), da Universidade Federal do Pará (UFPA) e integrante da Dissertação de Mestrado Profissional em Educação em Ciências e Matemática do professor-pesquisador Elson Silva de Sousa, orientado pela Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ana Cristina Pimentel Carneiro de Almeida.

O caderno foi experimentado, em contexto de sala de aula, com estudantes do terceiro ano do ensino técnico integrado ao Ensino Médio no município de Buriticupu, abordando conteúdos de biodiversidade e genética, destas com a Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS). Assim, o objetivo deste material é servir como convite ou guia norteador para o desenvolvimento de cursos pautados no ensino-aprendizagem de conhecimento científico para a formação cidadã de educandos.

## SUMÁRIO

<b>MÓDULO 1 ▪ A perda da biodiversidade genética e a extinção das espécies.....</b>	<b>122</b>
1.1 – A Exuberância e a Diversidade da Vida.....	123
1.2 – A Extinção da Vida.....	124
1.3 – A Diversidade Genética e a Extinção de Espécies.....	129
<b>MÓDULO 2 ▪ O progresso tecnológico e sua relação com a diversidade genética.....</b>	<b>132</b>
2.1 – Engenharia Genética.....	133
2.2 – Sequenciamento de DNA.....	135
<b>MÓDULO 3 ▪ As fontes da biodiversidade sob o foco da genética molecular.....</b>	<b>138</b>
3.1 – Biodiversidade Genética e a Biologia Molecular.....	139
3.2 – Fontes de Variabilidade Genética.....	143





## Módulo 1

### A perda da biodiversidade genética e a extinção das espécies

*A biosfera é um mosaico exuberante da diversidade de formas de vida entrelaçadas entre si. Neste capítulo, é abordada uma visão geral sobre a biodiversidade e como estamos rapidamente alterando os ambientes que garantem a diversidade biológica. Assim, você poderá explorar questões de como e por que as espécies estão sendo extintas, tendo como foco a genética.*



No centro do **Salão da Biodiversidade do Museu Americano de História Natural**, há uma exposição embutida no chão. A exibição está montada em torno de uma placa central, que informa a existência de cinco grandes eventos de extinção desde a evolução dos animais complexos, ao longo de quinhentos milhões de anos. Segundo a placa, a mudança climática global e outras causas, que provavelmente incluem a colisão de objetos extraterrestres com a Terra", foram responsáveis por esses eventos. E o texto afirma ainda: "Neste exato momento, estamos no meio da Sexta Extinção, agora causada apenas pela transformação efetuada por uma humanidade na paisagem ecológica".

*Extraído do livro A sexta extinção: Uma história não natural*

## 1.1 A EXUBERÂNCIA E A DIVERSIDADE DA VIDA

A vida é realmente incrível. E o que a torna ainda mais surpreendente é a infinita diversidade de formas em que ela aparece. Essa variedade pode ser contemplada desde os animais gigantes como as baleias-azuis até as criaturas vivas que são tão pequenas que só podem ser vistas com o uso de um microscópio como, por exemplo, os espermatozoides.

A vida invadiu nosso planeta e atingiu os lugares mais distantes da Terra. Ela se adaptou às mais diversas situações. Há organismos que vivem nas regiões polares extremamente geladas, outros vivem nos desertos áridos. Há aqueles que vivem na escuridão das profundezas dos mares, outros nos mais altos lugares do nosso planeta.

Essa riqueza de formas da vida é chamada de **biodiversidade** e pode ser estudada em três níveis principais: diversidade genética, diversidade de espécies e diversidade de ecossistemas.

A **diversidade genética** dentro das espécies permite que as espécies se adaptem às mudanças no ambiente ao longo do tempo. Enquanto que a **diversidade de espécies** oferece uma variedade de interações que contribuem para o fluxo de energia e ciclagem de nutrientes nos ecossistemas. Já a **diversidade de ecossistemas** fornece um conjunto de serviços ecológicos que mantêm a biosfera, incluindo purificação de água e ar, estabilidade do solo e controle de microclima, por exemplo.

### BIODIVERSIDADE

A biodiversidade é uma palavra composta derivada da expressão “diversidade biológica” e corresponde à variedade da vida no planeta e seus processos biológicos. Inclui a totalidade dos recursos vivos, ou biológicos, e, em especial, dos recursos genéticos e seus componentes, propriedade fundamental da natureza e fonte de imenso potencial de uso econômico.

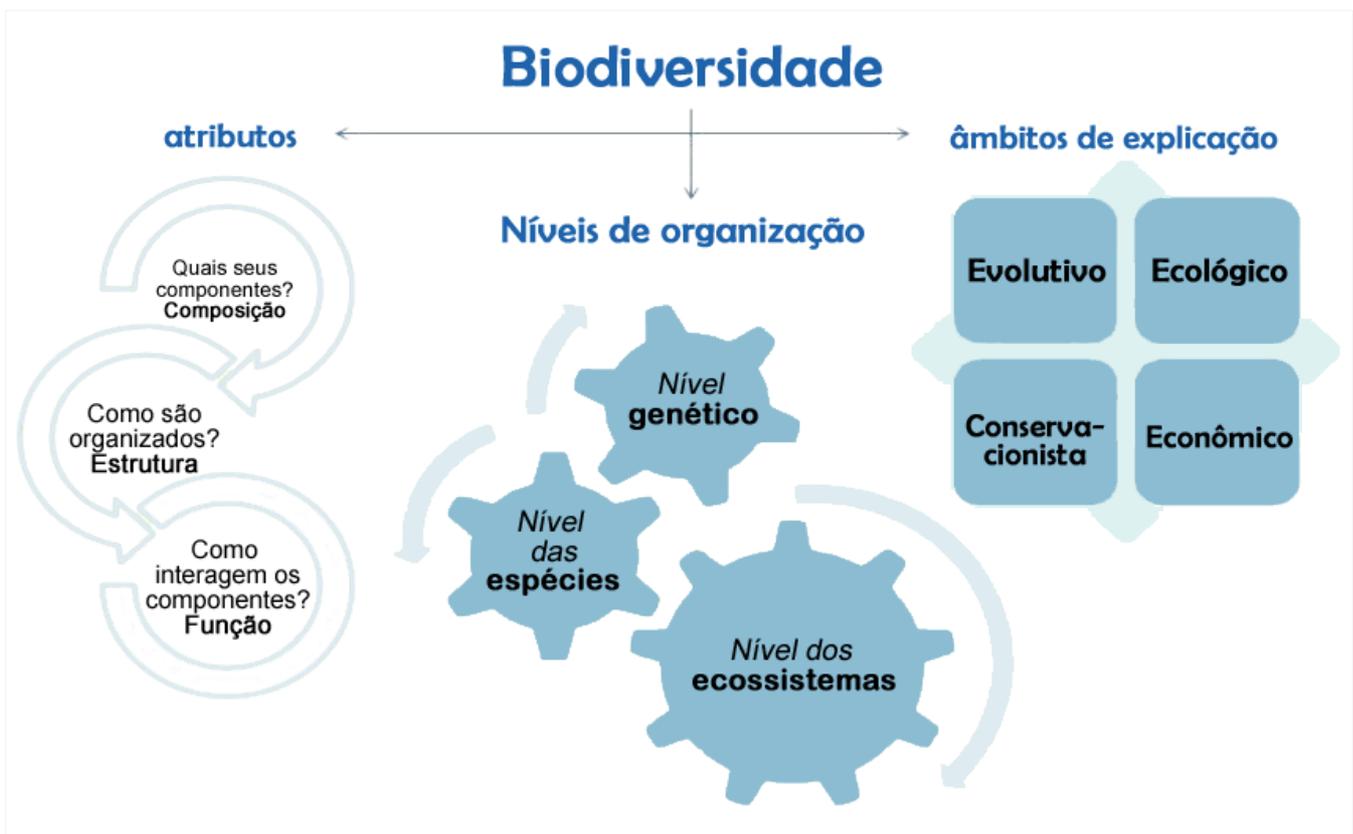


Figura 1.1 O Representação conceitual da biodiversidade: níveis de organização, atributos e âmbitos de explicação.

## 1.2 A EXTINÇÃO DA VIDA

### EVOLUÇÃO BIOLÓGICA

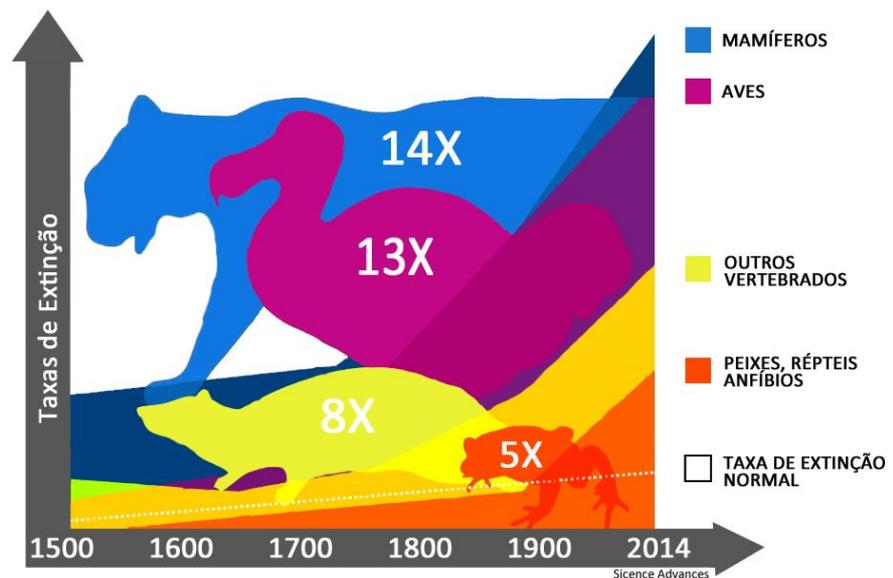
Palavra originária do latim *evolutione*, 'ação de desenrolar'. Sucessão de fenômenos por que passaram os seres vivos, desde a instalação da vida na Terra, com um imenso número de espécies e tipos já extintos. Os mecanismos associados à evolução compreendem as mutações, a seleção natural, o isolamento e outros mais que integram as diversas hipóteses e teorias que deram corpo ao Evolucionismo.

A extinção é um processo evolutivo natural dos seres vivos que vem acontecendo desde o início da evolução da vida e que leva ao desaparecimento de uma espécie ou de uma população, geralmente, decorrente da não adaptação daquela espécie às novas condições ambientais.

Quando uma espécie se torna extinta, toda sua herança genética é perdida para sempre. Assim, a extinção natural de uma espécie em si não deve ser interpretada como um evento negativo ou positivo, mas deve ser considerada pelo que é, ou seja, uma expressão da **evolução biológica**.

No entanto, a taxa de extinção atualmente não é considerada natural porque, nos últimos anos, tem se observado uma rápida e drástica queda na biodiversidade, sendo consensual entre os pesquisadores que o mundo enfrenta uma grave crise da biodiversidade.

Apesar de não ser possível determinar a taxa precisa de perda de espécies devido à falta de precisão do número de espécies existentes, as estimativas revelam claramente que a taxa de extinção é alta e, ao que tudo parece, são as atividades humanas que têm ameaçado a biodiversidade em todos os níveis.



**Figura 1.2** O gráfico mostra a crescente perda de mamíferos, aves, peixes, répteis e anfíbios desde 1500. Observa-se que as taxas de extinção aumentaram subitamente após a Revolução Industrial iniciada na segunda metade do século XVIII.

### ESPÉCIE EXÓTICA

O termo exótico vem do grego *exotikos*, que quer dizer 'estrangeiro'. Assim, uma **espécie exótica** é aquela que, de origem, provém de terra estrangeira. Enquanto a **espécie autóctone** é o tipo natural / primitivo do local em que se encontra.

Dentre os diversos impactos ambientais negativos provocados pelo homem, podem-se citar a destruição do hábitat, o aumento da emissão dos gases de efeito estufa, a exploração excessiva de recursos com um estilo de vida não sustentável, a poluição e a introdução de **espécies exóticas**.

As evidências de estudos científicos têm argumentado a favor de que ações sérias precisam ser adotadas urgentemente e que os esforços de conservação devem se intensificados. Caso contrário, uma extinção em massa, provavelmente, ocorrerá nos próximos séculos.

A problemática é tão séria que, atualmente, se fala na **sexta extinção**, que tem potencial para ser a mais devastadora da história da Terra como aponta o livro *A sexta extinção: uma história não natural*, de Elizabeth Kolbert, publicado no ano de 2015.

De fato, cerca de 26% dos mamíferos (22-37%), 13% das aves (13-14%) e 42% dos anfíbios (32-56%) são consideradas em perigo segundo a versão 2016.3, da **Lista Vermelha** de Espécies Ameaçadas da União Internacional para a Conservação da Natureza - IUCN<sup>18</sup>.

Diversas espécies estão ameaçadas de extinção, outras já foram extintas no Brasil e no Mundo, e tantas podem ser extintas sem, ao menos, chegarmos a conhecê-las, eliminando assim opções para o uso de recursos inexplorados para a produção de alimentos, indústria e medicina e outros.

“ *A diminuição da diversidade biológica da Terra tem consequências muito mais profundas do que outros dilemas ambientais, por vezes mais amplamente reconhecidos. Como a perda de biodiversidade é irreversível – as espécies perdidas perdem-se para sempre – o impacto potencial sobre a condição humana, sobre o tecido dos sistemas vivos da Terra e sobre o processo de evolução é imenso.*

Painel sobre Prioridades de Pesquisa em Biodiversidade, 1992.

A extinção de espécies é algo que vale a pena combater. Além do aspecto moral e ético em garantir os **direitos à existência da vida** e a perpetuação das mais diferentes formas de seres vivos do planeta, a biodiversidade proporciona uma ampla gama de benefícios à humanidade e fornece muitos outros **serviços ambientais** indispensáveis à produtividade e a estabilidade dos ecossistemas.

Devemos aos serviços ecossistêmicos os alimentos, a água doce, os recursos medicinais, o clima local, a roupa, a qualidade do ar, a polinização, o controle biológico, a prevenção da erosão e manutenção da fertilidade do solo, os habitats para as espécies, o turismo, a recreação, dentre tantos outros.

Assim, as motivações para se valorizar a biodiversidade são diversas. As razões estéticas, científicas, morais, espirituais, educacionais, econômicas, recreativas, tecnológicas são algumas delas.

A biodiversidade garante o ar que respiramos, os alimentos que comemos, ajuda a controlar doenças e nos presenteia com a impressionante beleza natural.

**Atividade 1.1** Navegue nos sites abaixo indicados ou em outros para encontrar informações relevantes sobre as espécies observadas em “Flora e Fauna Brasileira Ameaçadas de Extinção”. Registre um resumo no quadro branco, ressaltando o nicho ecológico, as principais causas que têm levado a espécie ao risco de extinção e as medidas conservacionistas adotadas.

Centro Nacional de Conservação da Flora (CNCFlora) - <http://cncflora.jbrj.gov.br/portal>

Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) - <http://www.icmbio.gov.br/portal/faunabrasileira>

#### EXTINÇÕES EM MASSA

Confira um infográfico sobre o assunto.

Link: <https://goo.gl/1z1hp1>

#### LISTA VERMELHA

É o maior inventário do mundo sobre o estado de conservação global de plantas e animais atribuindo para cada espécie avaliada uma das seguintes categorias.

-  Extinto
-  Extinto na natureza
-  Criticamente em perigo
-  Em perigo
-  Vulnerável
-  Quase ameaçada
-  Pouco preocupante

#### PARA REFLETIR

Não é apenas a espécie humana que depende de uma biodiversidade sadia para continuar a existir.

#### PARA SABER MAIS

Navegue no site do Ministério do Meio Ambiente e veja mais sobre espécies ameaçadas de extinção.

Link: [goo.gl/63jbf4](http://goo.gl/63jbf4)

<sup>18</sup> Fonte: <http://www.iucnredlist.org/about/summary-statistics>

# Flora e Fauna Brasileira



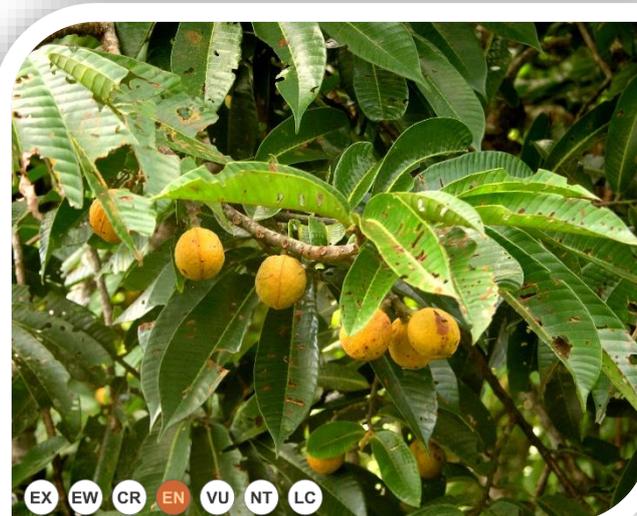
goo.gl/images/6wyRJ3

Arara Azul de Lear - *Anodorhynchus leari*



goo.gl/images/T338Pa

Tubarão-martelo-grande - *Sphyrna mokarran*

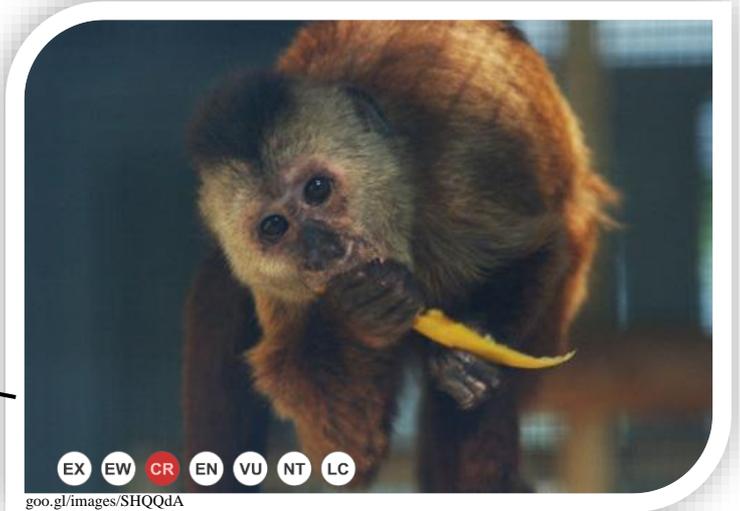


goo.gl/images/KNxBSS

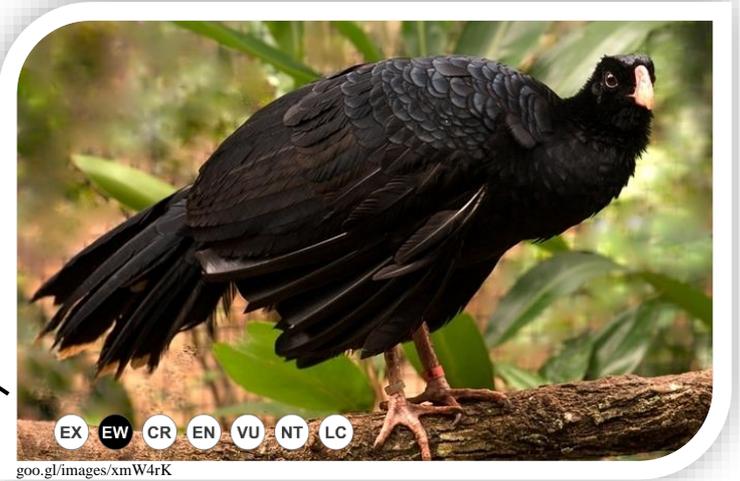
Ucuúba - *Virola surinamensis*

# Ameaçadas de Extinção

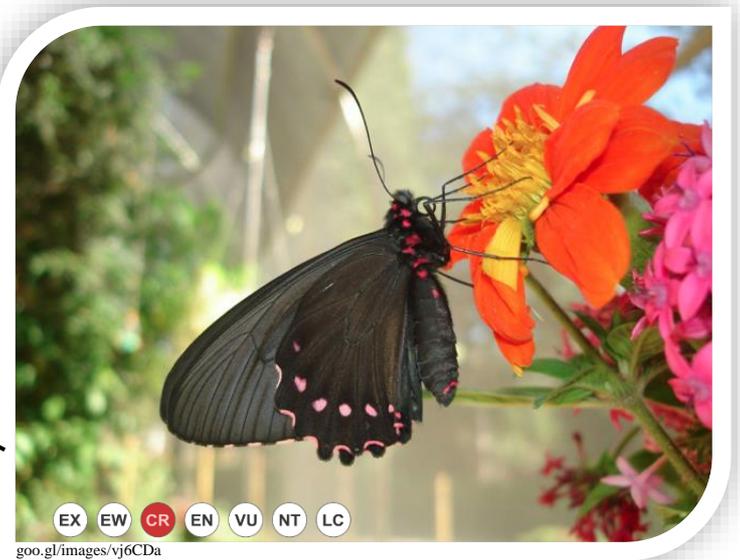
Caiarara - *Cebus kaapori*



Mutum-do-nordeste - *Pauxi mitu*



Borboleta - *Parides burchellanus*





### 1.3 A DIVERSIDADE GENÉTICA E A EXTINÇÃO DE ESPÉCIES

#### ALELO

A palavra alelo vem do grego *allelon*, ‘um e outro’ e diz-se de um ou outro gene responsável pelo mesmo caráter hereditário que se encontram em cromossomos (*locus*) distintos de um mesmo par chamados de homólogos.

A diversidade genética é a variedade de diferentes genes – **alelos** – dentro de uma determinada população e é a responsável por dar aos organismos vivos traços únicos que os distinguem dos seus parentes mais próximos.

A diversidade genética pode ser entendida de forma simplificada ao considerarmos os cães. Todos os cães fazem parte da mesma espécie – *Canis lupus familiaris*, mas são os seus genes quem determina se são Poodle ou um Labrador.



**Figura 1.10** As raças de pombo apresentam diferenças fenotípicas significativas. Considerando apenas o bico, conforme destacado na figura acima, é notável que o tamanho, a textura, a cor e a sua forma são bastantes variáveis.

Assim, há uma vasta diversidade da variação nos alelos gênicos dos cães que resulta em todas as cores, formas e tamanhos desses animais. Ainda, podemos citar como exemplos as diferenças nas características faciais humanas, raças de gatos, a variedade de rosas e milho, o tamanho e a altura das plantas e muitas outras variações.

#### **Mas o que a diversidade genética tem a ver com a extinção?**

Uma espécie depende da diversidade genética para continuar a viver, posto que a baixa diversidade resulta em menor capacidade de a espécie sobreviver, isto é, adaptar-se a mudanças no ambiente em que vive.

Logicamente, a explicação é que se os indivíduos de uma dada espécie possuem quase idêntica composição genética, então há de se considerar que a probabilidade dessa espécie sobreviver num evento ambiental adverso às características presentes, é reduzida. Tal população poderia ser subitamente eliminada.

Por outro lado, se uma alteração ambiental desfavorável sobrevém numa população com alta diversidade genética, haverá maior chance de ter pelo menos alguns indivíduos com uma composição genética que lhes permitam sobreviver diante das novas condições ambientais, garantindo, assim, a sua persistência em longo prazo na natureza.

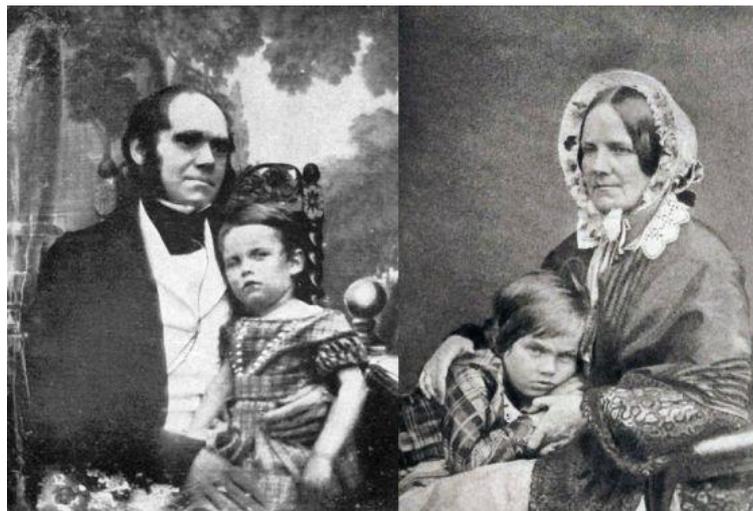
#### **FIQUE LIGADO**

Os ecossistemas com uma grande variedade de espécies, isto é, maior biodiversidade, tendem a ser mais resistentes à mudança do que aqueles com poucas espécies.

### PARA PENSAR

Casar-se com um parente próximo é um risco para a saúde?

A baixa diversidade numa determinada espécie é geralmente resultado da **endogamia** que é o acasalamento de indivíduos ou organismos intimamente relacionados por ascendência comum. A endogamia promove o aumento da **homozigose**, o que, geralmente, leva a uma diminuição da aptidão biológica porque as chances de a prole ser afetada por traços recessivos e deletérios tornam-se muito maiores.



goo.gl/images/KYMTzu

**Figura 1.11** Charles Darwin, considerado o pai da evolução, e seu primogênito William, e sua mulher, Emma, abraçando Leonard. Os estudos de Darwin sobre a fertilização das orquídeas levaram-no a se preocupar com a endogamia em sua própria família. Emma era prima de primeiro grau de Darwin. Sendo um pai devotado sentiu muito a perda de três dos seus dez filhos, além de se preocupar com doenças de seus outros filhos.

A perda da diversidade genética é complexa de medir ou ver. Em oposição, a redução e extinção de populações é muito mais simples de ver. A extinção não é apenas a perda de espécies inteiras, mas também é precedida por uma perda de diversidade genética dentro da espécie.

“ Pelo menos 40% da economia mundial e 80% das necessidades dos pobres são provenientes de recursos biológicos. Além disso, quanto mais rica a diversidade de vida, maior a oportunidade para descobertas médicas, desenvolvimento econômico e respostas adaptativas a novos desafios como as mudanças climáticas.

Convenção sobre a Vida na Terra, *Convenção sobre Biodiversidade*.

### PARA REFLETIR

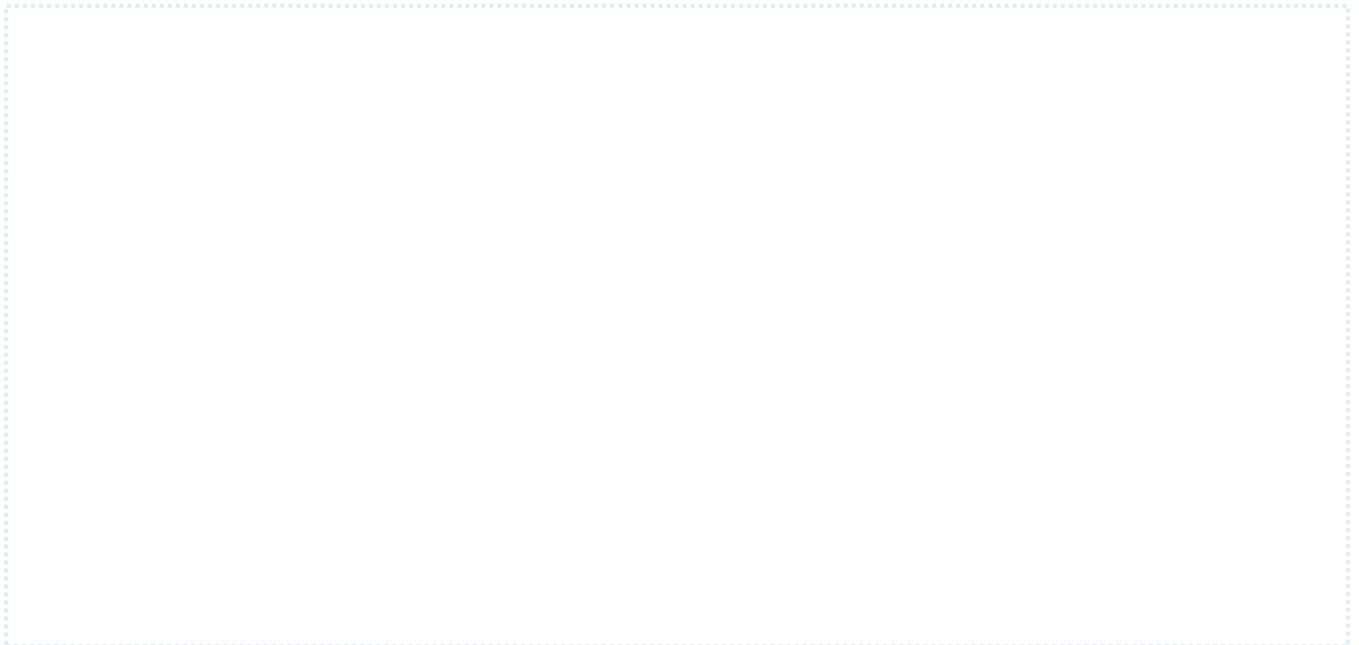
Existem muitas questões econômicas, políticas, e sociais inter-relacionadas que se apresentam como resultado do impacto humano na biodiversidade.

Os problemas socioambientais associados à perda de biodiversidade nem sempre afetam de forma negativa todas as pessoas de uma determinada região. Muitas vezes, a população mais afetada são as comunidades de baixa renda. As questões de biodiversidade envolvem conflitos de valores e crenças, por isso, as pessoas podem desempenhar um papel importante na resolução de problemas e questões de biodiversidade.

Nos dias de hoje, existem diversos mecanismos e meios científicos e tecnológicos para gerir e proteger a biodiversidade, como será abordado no próximo capítulo, contudo, a ciência e a tecnologia nem sempre são adequadas para resolver problemas e questões de biodiversidade.

Nesse sentido, os processos e instituições sociopolíticos (educacionais | legais | culturais | econômicos | políticos) podem ser bastante úteis para a resolução de questões de biodiversidade.

**Atividade 1.4** Explore o ar livre. Visite um ecossistema próximo (por exemplo, quintal, bosque da cidade, jardim, ou qualquer outro lugar natural) para explorar e coletar dados sobre as diferentes espécies que vivem lá. Registre suas observações sobre os diferentes organismos que você encontrou, buscando fazer qualquer inter-relacionamento entre essas diferentes espécies (animais e vegetais) e o meio em que vivem. Você pode colar, no espaço abaixo, fotografias tiradas do ecossistema que você visitou.



**Atividade 1.5** (Enem 2001) Várias estratégias estão sendo consideradas para a recuperação da diversidade biológica de um ambiente degradado, dentre elas, a criação de vertebrados em cativeiro. Com esse objetivo, a iniciativa mais adequada, dentre as alternativas a seguir, seria criar:

- a) machos de umas espécies e fêmeas de outras, para possibilitar o acasalamento entre elas e o surgimento de novas espécies.
- b) muitos indivíduos da espécie mais representativa, de forma a manter a identidade e a diversidade do ecossistema.
- c) muitos indivíduos de uma única espécie, para garantir uma população geneticamente heterogênea e mais resistente.
- d) um número suficiente de indivíduos, do maior número de espécies, que garanta a diversidade genética de cada uma delas.
- e) vários indivíduos de poucas espécies, de modo a garantir, para cada espécie, uma população geneticamente homogênea.

**Atividade 1.6** Neste capítulo, foi apresentado a temática sobre a perda da biodiversidade genética e o risco para a extinção das espécies. Com base nas leituras e reflexões desenvolvidas no decorrer do estudo, assinale “V” para as afirmativas verdadeiras e “F” para as afirmativas falsas.

(XX) A interferência do homem no meio ambiente tem feito com que espécies de seres vivos desapareçam muito mais rapidamente do que em épocas anteriores.

(XX) O enfoque ecológico em questões da biodiversidade é mais importante que o social, pois as necessidades das populações não devem constituir preocupação para ninguém.

(XX) Nas últimas décadas, os ecossistemas aquáticos têm sido alterados de maneira significativa em função de atividades antrópicas, tais como mineração, construção de barragens, desvio do curso natural de rios, lançamento de efluentes domésticos e industriais não tratados, superexploração dos recursos pesqueiros, entre outros.

(XX) No tratamento da questão da biodiversidade, há diferentes visões em jogo, tanto as que só consideram aspectos ecológicos, quanto as que levam em conta aspectos sociais e econômicos.

(XX) A diversidade é um elemento fundamental na sobrevivência de qualquer ser vivo. Sem ela, perde-se a capacidade de adaptação ao ambiente, que muda tanto por interferência humana como por causas naturais.



## Módulo 2

### O progresso tecnológico e sua relação com a diversidade genética

*O foco deste capítulo será estudar a influência dos seres humanos sobre os resultados genéticos na seleção artificial, tais como modificação genética e terapia genética; os impactos que essas tecnologias têm sobre a sociedade, bem como sobre as tecnologias que levam a essas descobertas científicas.*

Foto do livro da sequência do código de DNA do genoma humano retirada no museu da Universidade de Tóquio. Este é apenas um livro, o genoma completo é muito maior. A coleção completa está inscrita em pouco mais de 100 livros semelhantes.

## 2.1 ENGENHARIA GENÉTICA

A engenharia genética refere-se principalmente à manipulação direta de material genético para alterar as características de um organismo de uma maneira particular. Envolve a aplicação de um conjunto de técnicas usadas para cortar e ligar o material genético de uma ou mais espécies de organismo e introduzir o resultado, sobretudo o DNA recombinante, em outro organismo geneticamente modificado – OGM.

Na década de 80, surgiram os primeiros organismos geneticamente modificados a partir de bactérias contendo gene de rã, de camundongos ou de seres humanos. De lá para cá, muitos organismos tiveram seus genótipos modificados, entre os quais a soja, o milho, peixe, feijão, algodão, mosquito e outros.

Apesar de a Engenharia Genética ser anunciada com expectativa de futuro melhor e sob a perspectiva da promessa de resolver a fome no mundo e de melhores terapias médicas, há forte evidência de que a engenharia genética pode, potencialmente, danificar irreversivelmente a biodiversidade e trazer sérios prejuízos para a sociedade.

Atualmente, existe um debate caloroso entre a comunidade científica e a sociedade civil, envolvendo temas controversos, principalmente de natureza moral, ética e cultural, ligados ao desenvolvimento tecnocientífico da Engenharia Genética. A reprodução humana e eugenia, a produção de alimentos transgênicos, os bancos de DNA, a clonagem, a manipulação genética em embriões humanos, a disputa empresarial por patentes genéticas, são apenas alguns exemplos de temas que não possuem resoluções simples.

### **Atividade 2.1 – Montando uma molécula**

Você receberá um conjunto de cartas do professor que devem ser organizadas em duas fileiras paralelas. Sendo que as cartas na mesma posição das fileiras devem ser correspondentes às informações contidas nelas, do tipo “*chave-fechadura*”. Depois de realizar a atividade em grupo na turma, registre nos, espaços abaixo, o que se pede.

a) Que registros (semelhanças e diferenças) você pode fazer ao observar com atenção a estrutura formada?

---

---

---

---

---

---

---

---

b) Como você descreveria a estrutura linear disposta pelas cartas?

---

---

---

---

---

---

---

---

### **PARA SABER MAIS**

Assista ao vídeo Engenharia Genética no link abaixo que aborda a tecnologia CRISPR e a possibilidade de manipulação genética em embriões humanos

Link: [youtu.be/6PZz7CH4e1M](https://youtu.be/6PZz7CH4e1M)

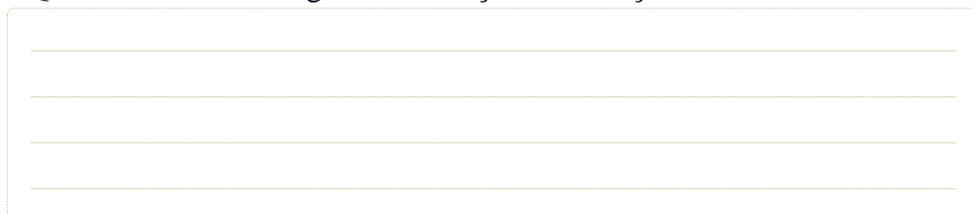
## PARA REFLETIR

Os recentes avanços nas tecnologias genômicas permitiram, por exemplo, a sequenciação genômica, a previsão de doenças hereditárias, a concepção assistida, a manipulação gênica, a formulação de um novo conceito de espécie/raças e a produção de organismos geneticamente modificados. Esses avanços levaram a sociedade a questionar as complexas formas pelas quais o uso do conhecimento científico-técnico molecular pode impactar a humanidade (negativa ou positivamente). Partindo dessa instigação, pense e comente a seguinte afirmação “**As ciências biológicas, as tecnologias e a sociedade estão entrelaçadas até o ponto de serem coproduzidas**”.

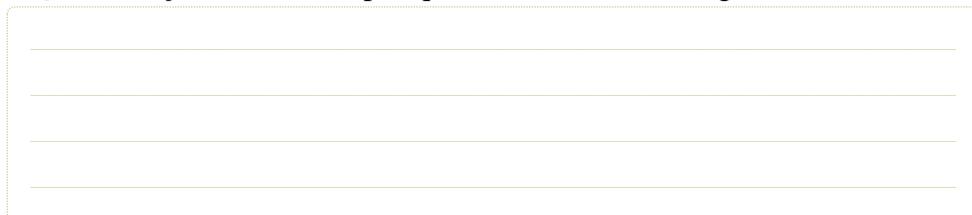
**Atividade 2.2 – Veja o seu DNA.** O DNA é extraído de células humanas por uma variedade de razões. Com uma amostra pura de DNA você pode testar, por exemplo, um recém-nascido para uma doença genética, analisar provas forenses, ou estudar um gene envolvido no câncer. Nessa atividade, você irá visualizar no microscópio óptico células da sua bochecha e depois realizar procedimento para a extração e visualização do DNA dessas células. Desenhe aqui o que você observou na lâmina vista com o uso do microscópio óptico.



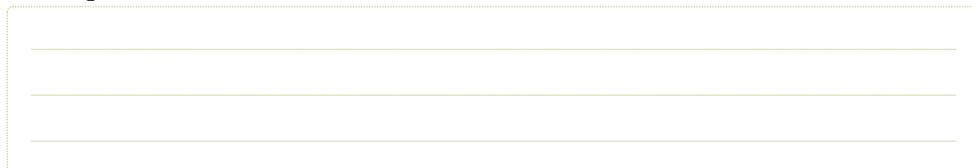
- Qual o efeito do detergente na solução de extração de DNA?



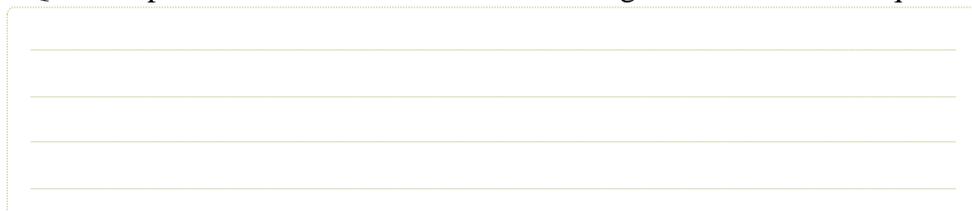
- Qual a função do álcool e por que se utiliza o mesmo gelado?



- Por que foi necessário adicionar sal à mistura?



- Qual o aspecto do DNA extraído? Você consegue observá-lo? Por quê?



## 2.2 SEQUENCIAMENTO DE DNA

A tecnologia de sequenciamento de DNA permite identificar a ordem das bases nitrogenadas no DNA, podendo fornecer informações úteis para questões sócio-biológicas importantes, por exemplo, a determinação de anomalias genéticas, o aconselhamento genético, a biologia forense, a classificação de espécies e a conservação da biodiversidade.

Uma das ferramentas que faz uso de sequenciamento de DNA atualmente existente é o Sistema de Dados de Código de Barras da Vida - BOLD, que é um banco de dados abrangente de sequência dedicado ao código de barras de DNA.

O Bold Systems é uma plataforma global on-line de acesso aberto, desenvolvida pelo *Centre for Biodiversity Genomics in Canada* (CBG) e consiste na coleta, no armazenamento e na análise comparativa de sequências específicas de DNA.



Figura 2.1 – Tela inicial do Bold Systems na internet.

Essa ferramenta da bioinformática permite realizar a comparação entre uma sequência de nucleotídeos desejada com todas as outras sequências de diversos organismos armazenadas na base de dados. Assim, através da utilização de um ou mais **marcadores genéticos** é possível identificar a espécie correspondente à amostra consultada baseada numa comparação com a biblioteca de referência.

Os marcadores genéticos são qualquer alteração em uma sequência de ácidos nucleicos ou outro traço genético que possa ser prontamente detectado e usado para identificar indivíduos, populações ou espécies ou para identificar genes envolvidos em doenças hereditárias. Os marcadores genéticos consistem principalmente em Polimorfismos, que são variações genéticas descontínuas que dividem indivíduos de uma população em formas distintas.

**Atividade 2.3 - Identificação de espécies.** O corte ilegal de madeira ainda é uma prática muito comum no país, trazendo sérias implicações na dinâmica e estrutura de populações em florestas, além de serem atividades consideradas imorais por destruírem o meio ambiente e causarem a extinção de diversas espécies. Uma das dificuldades na elucidação dos crimes contra a flora é a existência de provas conclusivas sobre a espécie objeto, já que, em muitos casos, são apreendidos apenas amostras da madeira já processada o que dificulta sua identificação. Nesses casos, uma das formas para identificar a espécie é o uso do conhecimento científico e tecnológico de marcadores moleculares.

Genética na escola, v.8, n.1, p. 28-33, 2013. (texto adaptado)

### BOLD SYSTEMS

O Bold Systems permite sequências de mais de 150 marcadores genético incluindo os 4 marcadores de código de barras de DNA principais: COI (identificação animal), ITS (identificação fúngica), matK e rbcL (identificação de planta).

### PARA SABER MAIS

O Ministério do Meio Ambiente possui uma lista de espécies ameaçadas. A mais recente publicação, de dezembro de 2014, aponta que, 7.880 espécies de árvores catalogadas até agora no País, 2.113 espécies estão na “Lista oficial das espécies da flora brasileira ameaçadas de extinção”. Atualmente, a Castanheira (*Bertholletia excelsa*), a Seringueira (*Hevea spp*), e o Mogno (*Swietenia macrophylla*) estão proibidas de corte.

**PARA SABER MAIS**  
Assista ao vídeo Código de Barras da Vida no link.  
Link: [youtu.be/ZImiXgU6bCk](https://youtu.be/ZImiXgU6bCk)

Um órgão de fiscalização ambiental recebeu uma denúncia de que uma empresa de beneficiamento de madeira estaria utilizando em seus processos industriais madeira de corte proibido em via de extinção. Assim, o órgão recolheu amostras que o dono da empresa afirmava ser de madeira sem nenhuma proibição de corte para verificar se realmente o empresário falava a verdade. As amostras de madeira apreendida foram então enviadas para um laboratório especializado em análises genéticas. No laboratório, foi realizada a extração de DNA das diferentes amostras encaminhadas, amplificação de gene *rbcL* pela técnica de PCR e leitura em sequenciador automático de DNA. Agora, de posse das sequências de cada espécime, você irá identificá-las no site Barcode of Life Data Systems.

**>seq1**

```
CTCCTCTTTACATTTATTACGGTTCCTTCTCCACGAGCATTTTCATTGGAATAGTCTTATT
ATTCCAAAGAACTCCATTTCCATTTTTTCAAAAAGGAATCCAAGATTCTTATTGTTTCTA
TATAATTCTCATGTATATGAATATGAATCCATCTTCTTTTTTCTCTGTAACCAATCTTCTC
ATTTACGATCAACATCCTCTGGAGTCCTCGTTGAGCGAATATATTTCTATAGAAAAGTCG
AACATCTTGTCGAAGTCTTTTTCTAATGATTTTCAGGACATCTTATGGTTGTTCAAGGATC
CTTTTATGCATTATGTTAGATATCAAGGAAAATCCATTCTGGCTTCAAAGATAACGCCTC
TTCTGATGAATAAATGGAAATATTACCTTGTCATTTAGGGCAATGGCATTTCGCGTGT
GGTCTGAACCAGGAAGGGCTCATATAAACCACTTAGACAAGCACTCTATCAACTTTCTG
GGCTATCTTTCCAGTGTGCGATTAAATCTTTTGGTGGTACGGAGTCAAATGCTAGAAAAT
TCATTTATAATAGATAATACTATGAAGAAGGTGATACAACCGTTCCAATTATTCATCTG
ATTGGATCATTGACTAAGGCACGGTTTTGTAATGCGTTAGGGCATCCCATCAGTAAGCC
GACCTGGGCCGATTTACGGATTCTCATATTATCGACCGATTTTTGGGTATATGCAGAAA
TCTTTCTCATTATTACAGTGGATCCTCAAAAAACAGGGGTTGTATCGAATAAAATA
```

**>seq2**

```
ATGGAGGAAAGATATTTAGAATTAGATAGATCTCGAAAAACGACCTCCTATACCCATT
TATCTTTTCGGGAGTATATTTATAACATTCGCTCATGATCATAGTTTAAATAGATCTATTTG
TTGGAAAATGTAGGTTATGACAATAAATCTAGTTTTTTAATTGTAAAACGTTTAATTACT
CGAATGTATCAACAGAATCATTGATTATTTCTGCTAATGATTCTAACCAAAATCCATTT
TTTAGATACAACAAGAATTTGTATTATCAAATGATATCAGAGGGCTTTGCAGTTATTGTG
GAAATTCCATTTTCCCTACGATTAGTATCTTCTTTAGAAAGGTCAGAGATAGTAAAATCT
CATAAATTACGATCAATTCATTCAATATTTCTTTATTAGAGGACAAATTTCCACATTTA
AATTATGTGTCAGATATATTAATACCTTACCCCATCCATCTAGAAAAATTGGTTCAAACC
CTTCGCTATTGGGTGAAAGATCCCTCTTCTTTGCATTTATTACGGCTCTTTCTTCATGAGT
ATTGGAATTTGAACAGTCTTATTATCCAAAGAAATCTATTATTATTTTTATAAAAAGGA
ATCCAAGATTTTTCTTGTTCTATATAATTCTCATGTATATGAATACGAATCCATCTTCTT
TTTTCTCCGTAACCAATCCTTTCAATTTACGATCAATATTTTNGCGAGTCCTTCTTGAACGA
ATTTTTTTCTATGGAAAAATAGAACATTTTGCGGAAGTCTTTGCTAATGATTTTCAGGCC
ACCTGTGGTTGTTCAAGGATCCTTTTCATGCATTATGTTAGATATCAAGGAAAATCAATT
TTGGCTTCAAAAAATAGGCCTTTTCTGATGAAAAAATGGAAATAT
```

a) Quais espécies correspondem às amostras sequenciadas?

---

---

b) Por que foram utilizadas sequências do gene **rbcL** para a identificação taxonômica das espécies abordadas nesta atividade?

---

---

c) A técnica de Código de Barras de DNA permite a identificação molecular de espécies a partir de uma pequena quantidade de amostra de DNA, com base na atividade e em seus conhecimentos da técnica. Qual o papel do Código de Barras de DNA no estudo da biodiversidade?

---

---

---

---

---

---

---

---

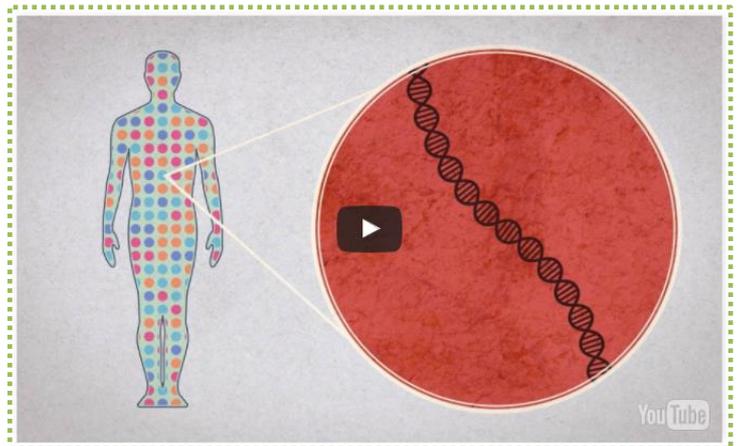
---

---



Antes de avançar para o próximo capítulo, assista a dois vídeos que abordam como o genoma humano é sequenciado e como os genes estão relacionados à biodiversidade.

O DNA é verdadeiramente uma molécula fascinante. É incrível pensar que 4 pequenas letras podem explicar não só toda a diversidade humana, mas todas as diferenças entre todas as formas de vida na Terra - das bactérias às borboletas até as baleias! Assista o vídeo Ted-Ed e veja como o genoma humano é sequenciado.  
Link: [youtu.be/MvuYATH7Y74](https://youtu.be/MvuYATH7Y74)



A diversidade é importante ao nível dos genes e dos ecossistemas, bem como das espécies. Assista o vídeo disponibilizado na Khan Academy e descubra como o conjunto de genes contribuem para a biodiversidade e saiba como a diversidade genética dentro das populações contribui para a sobrevivência das espécies.  
Link: [youtu.be/29oCgwwv-4M](https://youtu.be/29oCgwwv-4M)



## Módulo 3

### As fontes da biodiversidade sob o foco da genética molecular

*Em abril de 1953, James Watson e Francis Crick abalaram a comunidade científica com um belo modelo de dupla hélice para a estrutura do ácido desoxirribonucleico – DNA. Hoje, a palavra DNA é tão popular que até mesmo as crianças no começo da vida escolar já ouviram falar. Neste capítulo, você poderá aprender sobre a estrutura e características do DNA e, ainda, como a informação hereditária do DNA controla o desenvolvimento das nossas mais diversas características e sobre os processos biológicos que origina a biodiversidade na Terra.*



Da esquerda para direita: James Watson, Francis Crick, Maurice Wilkins e Rosalind Franklin desempenharam papel fundamental na descoberta da estrutura do DNA, o ácido desoxirribonucleico – a molécula que codifica os genes em todos os seres vivos.

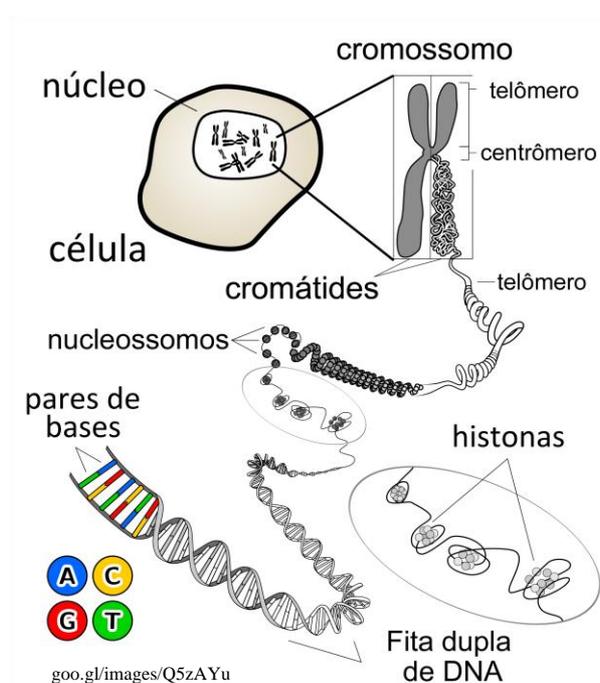
### 3.1 A BIODIVERSIDADE GENÉTICA E A BIOLOGIA MOLECULAR

Um dos aspectos mais fascinantes da vida é a imensidade de seres vivos diferentes, vivendo nos mais diversos ecossistemas da Terra. As estimativas preveem que existam ~ 8,7 milhões de espécies eucarióticas em todo o mundo ( $\pm 1,3$  milhões), dos quais somente um pouco mais de 1,2 milhões foram catalogadas.

As diferenças presentes entre todos esses organismos vivos do planeta são resultantes da **biodiversidade genética** que compreende o total das variações genéticas acumulada durante o processo evolutivo geradas das mutações, da recombinação genética e do fluxo gênico.

Essas diferenças podem ser facilmente observadas por suas características fenotípicas visíveis ou sentidas, por exemplo, sua cor, sua forma, seu tamanho, seu sabor. Muitas vezes os organismos têm características semelhantes e, em geral, quanto mais características tiverem em comum, maior o grau de parentesco.

Todos os seres vivos são feitos de um ou vários pequenos blocos de construção como se fossem os tijolos em uma construção, denominados de **células**. Praticamente todas as células de um organismo vivo eucarionte têm um "centro de controle" chamado **núcleo** que contém os **genes** dispostos em **cromossomos**.



**Figura 3.1** O esquema apresenta um panorama organizacional entre o cromossomo, DNA e outros elementos. O nucleossomo é a unidade básica de empacotamento do DNA nas células eucarióticas, na qual um segmento de DNA linear se enrola em torno de um octâmero globular proteico de histona. Observar que a figura destaca um cromossomo duplicado constituído por dois filamentos de DNA iguais (cromátides irmãs) interligados na região do centrômero.

O cromossomo, na verdade, é uma cadeia de **DNA** semelhante a um fio que contém as informações genéticas de uma célula – os genes. O DNA é essencial para a vida, assim como outros produtos químicos, como água, minerais, vitaminas, glicídios, proteínas e lipídios. Os alimentos e bebidas que consumimos reabastecem as necessidades da nossa célula para esses produtos químicos. Com poucas exceções, muitos produtos químicos, incluindo DNA, são encontrados em cada célula viva e, portanto, em muitos alimentos que comemos.

#### FENÓTIPO E GENÓTIPO

Fenótipo é uma palavra originada do grego *phainein* que significa 'fazer aparecer' e do termo *typos*, 'modelo'. O **fenótipo** se constitui como resultado aparente, visível ou simplesmente de alguma forma detectável, da atividade do genótipo, e está sujeito a influências ambientais, enquanto o **genótipo** representa a composição dos genes que o organismo possui, e, por isso, não é manifesto à visão.

#### GENE

Os genes são como receitas que compõem um livro de receita usado para criar todo tipo de refeição, por exemplo, o aperitivo, o prato principal e uma sobremesa.

#### CURIOSIDADE

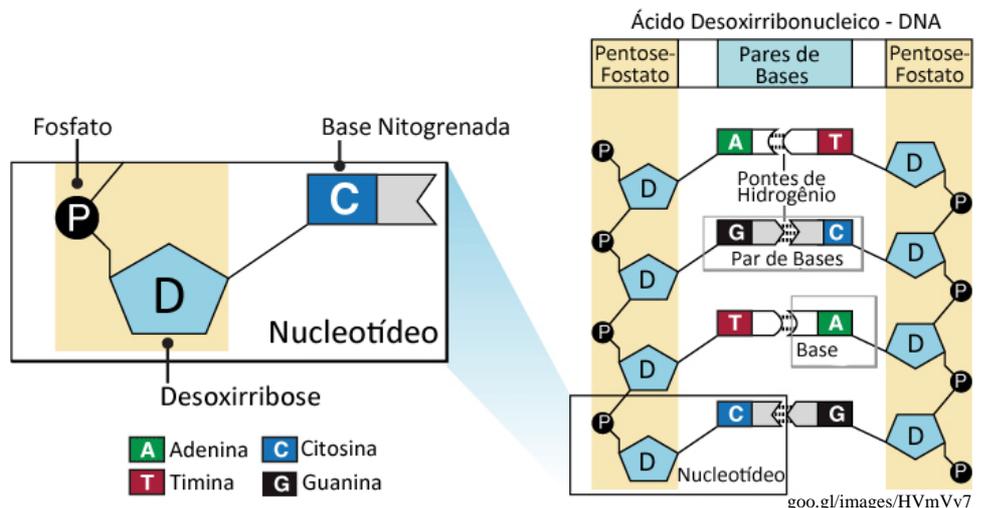
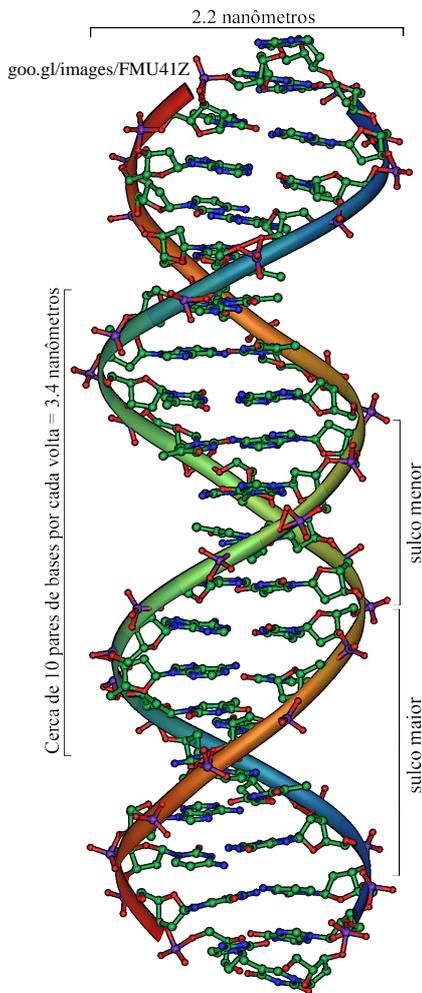
O DNA tem apenas dois nanômetros de diâmetro, mas se pudéssemos arrumar todos os fios de apenas uma única célula e alinhá-los de ponta a ponta, formaria um fio de dois metros de comprimento!

### FATORES AMBIENTAIS

Outros fatores, além da genética, podem contribuir para a variação de um caráter. Por exemplo, os fenótipos podem ser afetados pelo ambiente. Quando você passa muito tempo no sol, a sua pele torna-se mais escura do que foi pre-determinado pelo seu genótipo.

Os genes são segmentos de nucleotídeos de DNA que possuem as informações para a produção de um produto gênico funcional. Dentre esses produtos estão as mais diversas proteínas necessárias ao funcionamento do organismo, assim sendo, os genes direcionam as características particulares de um organismo, respondendo pela hereditariedade de um determinado caráter – traço genético. Você é biologicamente diferente das outras pessoas, porque os seus genes determinam que seja assim.

O DNA de todos os organismos vivos, eucariontes e procariontes, são constituídos das mesmas unidades químicas, **os nucleotídeos**. Estes, por sua vez, são formados pela associação de uma pentose chamada de desoxirribose com uma base nitrogenada (A, C, G ou T) combinado com um radical fosfato.



**Figura 3.2** O esquema revela a estrutura linear simplificada do DNA que é constituído por dois filamentos antiparalelos de nucleotídeos. Os filamentos são ligados um ao outro por meio de pontes de hidrogênio estabelecidas entre os nucleotídeos complementares (A=T e C≡ G). A ligação entre os nucleotídeos da espinha-dorsal da cadeia de DNA é do tipo covalente e ocorre entre a desoxirribose de um nucleotídeo com o grupo fosfato de outro.

Apesar da composição do DNA ser igual para todo ser vivo, **a das bases nitrogenadas nos nucleotídeos** é diferente e exclusiva para cada organismo. De forma semelhante a dois poemas escritos na mesma língua que podem ser completamente diferentes um do outro devido à sequência das letras, palavras e frases.

**Figura 3.3** Dupla hélice

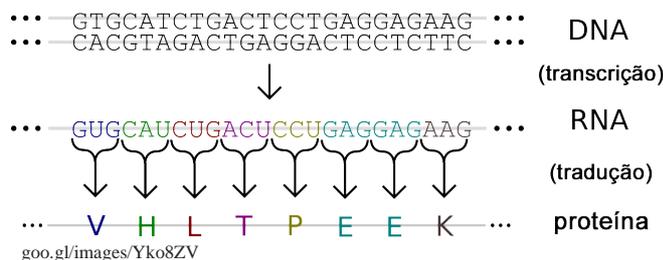
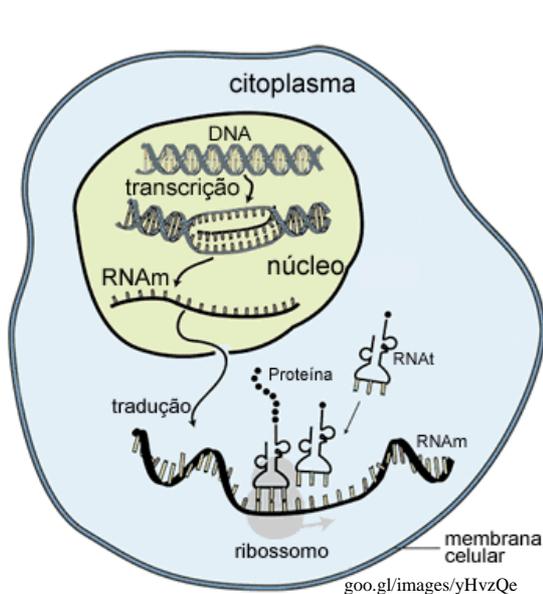
**DNA E ARTE** – No mercado brasileiro e internacional existem empresas que estão a fazer Arte com o DNA de seus clientes. Funciona assim: a pessoa depois de fazer o pedido pela internet recebe um kit de coleta de DNA que inclui um cotonete e um manual de informações; a amostra de células da bochecha coletada é então enviada para o laboratório da empresa; lá, os técnicos realizam a eletroforese – separação de pedaços de DNA de acordo com o tamanho e peso – e transformam o código genético em arte única e exclusivamente pessoal.

Veja uma animação sobre a eletroforese em <https://goo.gl/iMUYJI>



[goo.gl/images/egYArq](https://goo.gl/images/egYArq)

As unidades químicas são organizadas em um código, denominado de **código genético**, isto é, um conjunto de regras pelas quais a sequência de bases no DNA é transcrita no RNA mensageiro para depois ser traduzida na sequência de aminoácidos de uma determinada proteína.



**Figura 3.1** Demonstração da correlação entre o DNA, RNA e proteína.  
a. No diagrama ao lado, um determinado gene específico responsável pela produção de certa proteína se desenrola a partir de seu cromossomo. Daí, é produzida uma cópia simples do gene conhecido como RNAm, que deixa o núcleo da célula e se encontra com os ribossomos (RNAr) no citoplasma da célula. O RNAm contém uma sequência de bases que determina, junto ao ribossomo, a ordem particular dos aminoácidos que compõem a proteína. Os aminoácidos são trazidos ao local de produção da proteína pelos RNAt.  
b. O esquema superior é uma ilustração do fluxo de informação genética, do DNA ao RNA à proteína.

As proteínas são componentes extremamente essenciais para a vida das células e dos organismos. Quase todas as funções orgânicas dependem das proteínas. Por exemplo, algumas proteínas são usadas para dar ao organismo sua forma, enquanto outras dão energia para a realização de trabalho. Em plantas, algumas proteínas determinam a forma e o tamanho das folhas. Outras promovem essas características para os frutos, flores e sementes. Outras proteínas ajudam a planta a capturar energia do sol e transformá-lo diretamente em alimento para a planta e indiretamente para os seres humanos.

Elas são constituídas de muitas unidades químicas individuais chamadas **aminoácidos**, que são as moléculas orgânicas essenciais para a fabricação das proteínas.

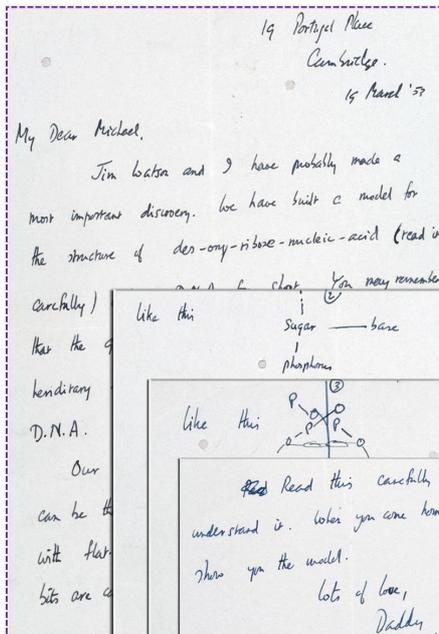
Existem pelo menos vinte aminoácidos diferentes, dos quais doze são denominados de **aminoácidos naturais** porque o organismo humano consegue produzi-los, os outros oito **aminoácidos essenciais** precisam ser obtidos pela alimentação. Quando comemos arroz, carne e feijão, por exemplo, nosso corpo quebra as proteínas contidas nos alimentos em aminoácidos e os utilizam para fazer novas proteínas que o corpo precisar.

**Atividade 3.1 Simulação da diversidade entre indivíduos de mesma espécie.**

Essa atividade tem o objetivo de analisar as diferenças morfológicas de indivíduos de uma determinada espécie de borboleta além de refletir sobre a variabilidade genética dos seres vivos. Para tanto o professor, dividirá a turma em grupos de cinco integrantes. Cada grupo irá montar uma borboleta descendente de uma fecundação aleatória escolhida pelos estudantes com base num conjunto de alelos predeterminado. A borboleta de cada grupo será montada com o uso de peças de EVA recortadas (asas, antenas, corpo, abdômen etc.). Outras informações serão repassadas pelo professor.

**OS AMINOÁCIDOS**

Abrev.	Nome
A	Ala Alanina
C	Cys Cisteína
D	Asp Ácido aspártico
E	Glu Ácido glutâmico
F	Phe <b>Fenilalanina</b>
G	Gly Glicina
H	His Histidina
I	Ile <b>Isoleucina</b>
K	Lys <b>Lisina</b>
L	Leu <b>Leucina</b>
M	Met <b>Metionina</b>
N	Asn Asparagina
P	Pro Prolina
Q	Gln Glutamina
R	Arg Arginina
S	Ser Serina
T	Thr <b>Treonina</b>
U	Sec Selenocisteína
V	Val <b>Valina</b>
W	Trp <b>Triptofano</b>
Y	Tyr <b>Tirosina</b>



### Meu caro Michael, nós descobrimos o DNA

Em 19 de março de 1953, o biólogo inglês *Francis Crick* escreveu uma carta a seu filho Michael de 12 anos, descrevendo a provável descoberta que ele e seu colega, James Watson haviam feito. Na carta, Crick esboça o que hoje é talvez um dos mais famosos diagramas científicos do mundo – a estrutura do DNA. Um mês depois Crick e Watson publicaram oficialmente a descoberta na revista *Nature*. Confira abaixo fragmentos da carta de sete páginas.

*Meu querido Michael,  
Jim Watson e eu provavelmente fizemos uma descoberta muito importante... Nosso modelo é muito bonito... Acreditamos ter encontrado o mecanismo de cópia básico da vida... Leia tudo isso cuidadosamente para ter certeza que você entende. Quando chegar em casa, ele vai mostrar o modelo. Muito amor, papai.*

### Atividade 3.2 DNA e Matemática

Entre 1944 e 1952, o bioquímico austríaco Erwin Chargaff, como resultado dos seus estudos, utilizando as recém-desenvolvidas técnicas de cromatografia em papel e espectrofotometria ultravioleta, formulou regras matemáticas quantitativas conhecidas como regras de Chargaff que contrariaram a *hipótese do tetranucleotídeo* proposta por volta do ano 1910 pelo bioquímico americano Phoebus Levene. Chargaff conheceu Francis Crick e James Watson em Cambridge, em 1952, e, apesar de não se ter dado bem com eles pessoalmente, explicou-lhes as suas descobertas, o que mais tarde, ajudaram Watson e Crick a deduzir a estrutura de dupla hélice do DNA em 1953. Partindo desse contexto, marque as opções que apresentar incorretamente a relação quantitativa entre as bases segundo as **regras de Chargaff**.

#### TETRANUCLEOTÍDEO

A hipótese do tetranucleotídeo afirmava que a ordem das bases do DNA era uma sequência repetitiva fixa, por exemplo,

**ACGTACGTACGTACGT.**

Assim o DNA era composto de quantidades iguais de adenina, guanina, citosina e timina.

- a)  $G = A = C = T$       c)  $T = A$       e)  $A + T + C = G$   
b)  $T + C = A + G$       d)  $C = G$

**Atividade 3.3** Sabendo que numa molécula de DNA 30% das bases nitrogenadas são adenina, qual é a percentagem de citosina?

- a) 20%      c) 30%      e) 45 %  
b) 25%      d) 35%

### SOBRE OS OMBROS DOS GIGANTES

Sem dúvida, James Watson e Francis Crick desempenharam um papel muito importante na descrição da estrutura e função do DNA. No entanto, é importante destacar que esta descoberta dedutiva se deu graças ao trabalho de muitos outros cientistas antes deles.

Friedrich Miescher, que identificou pela primeira vez, na década de 1860, o DNA; Albrecht Kossel, que isolou as cinco bases nucleotídicas do DNA e do RNA; Walter Sutton e Theodor Boveri, que apresentaram a ideia de que o material genético transmitido de pai para filho estava dentro dos cromossomos; Erwin Chargaff, que estudou a relação entre as bases nitrogenadas; Martha Chase, que mostrou experimentalmente que era o DNA e não as proteínas o material genético da vida; Rosalind Franklin, que realizou estudos com difração dos raios-X para determinação da estrutura da molécula do DNA e tantos outros destacados ou não na história da ciência merecem ser reconhecidos por seus trabalhos que forneceram as bases para os avanços na compreensão da ciência genômica.

### 3.2 FONTES DE VARIABILIDADE GENÉTICA

A informação genética especificada pelo código é como as informações gravadas nas receitas do livro de receitas. As receitas e o DNA servem para manter a informação. Assim como o alfabeto é usado para comunicar ideias em uma receita através de palavras, as bases nitrogenadas que formam o DNA comunicam as informações sobre as características de um organismo.

Substituir uma letra por outra, inserir ou excluir uma letra em uma palavra pode não ter nenhum efeito no significado da sentença ou pode mudar dramaticamente seu significado.

Por exemplo, excluir uma letra na frase a seguir muda seu significado. “Ele esperou a sexta” certamente é diferente de “Ele esperou a seta”. Inserir uma letra na frase “Ele agradeceu pelo carinho” pode alterar o sentido para “Ele agradeceu pelo carrinho”. Outro exemplo, agora sem alteração de significado, é a exclusão de uma letra na frase a seguir. “Andas triste”, “Anda triste”.

A mesma situação ocorre com o DNA. A alteração em uma única unidade química do gene origina uma mutação. A **mutação** poderá não ter efeito nenhum ou causar um efeito profundo, dependendo da localização da mudança no genoma e da tradução da nova sequência de leitura.

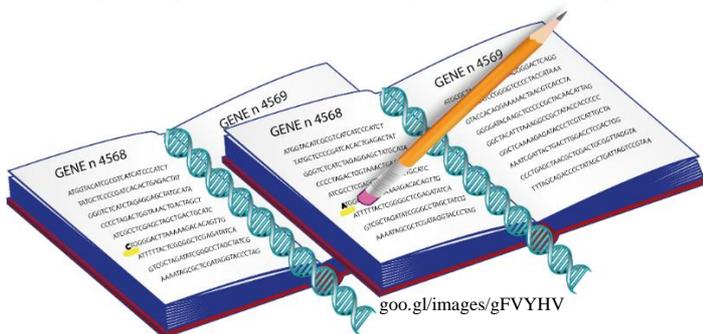


Figura 3.4 Ilustração artística de uma mutação fictícia no Gene n 4568.

As mutações podem ocorrer quando o DNA é duplicado para gerar novas células, isto é, a duplicação celular que garante o crescimento e a renovação dos tecidos, desde o embrião até o final da vida do organismo. No entanto, somente quando as mutações ocorrem em **gametas** é que elas desempenham um papel fundamental na evolução e contribuem para o aumento da variabilidade genética.



goo.gl/images/UmUZDI

### HÁBITO TÓXICO

Levantamento genômico, publicado na revista Science em novembro de 2016, mostra como fumantes têm mais chances de ser acometidos por cânceres.

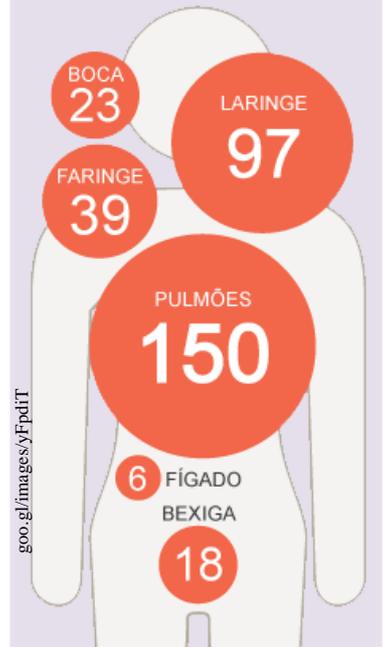


Figura 3.3 Quantidade média de mutações produzidas anualmente em cada célula ao fumar um maço de tabaco por dia.

### GAMETAS

A palavra tem origem no grego *gamétes*, ‘o que se casa’, variação de *gamos*, ‘casamento’. São células germinativas especializadas para a reprodução sexual.

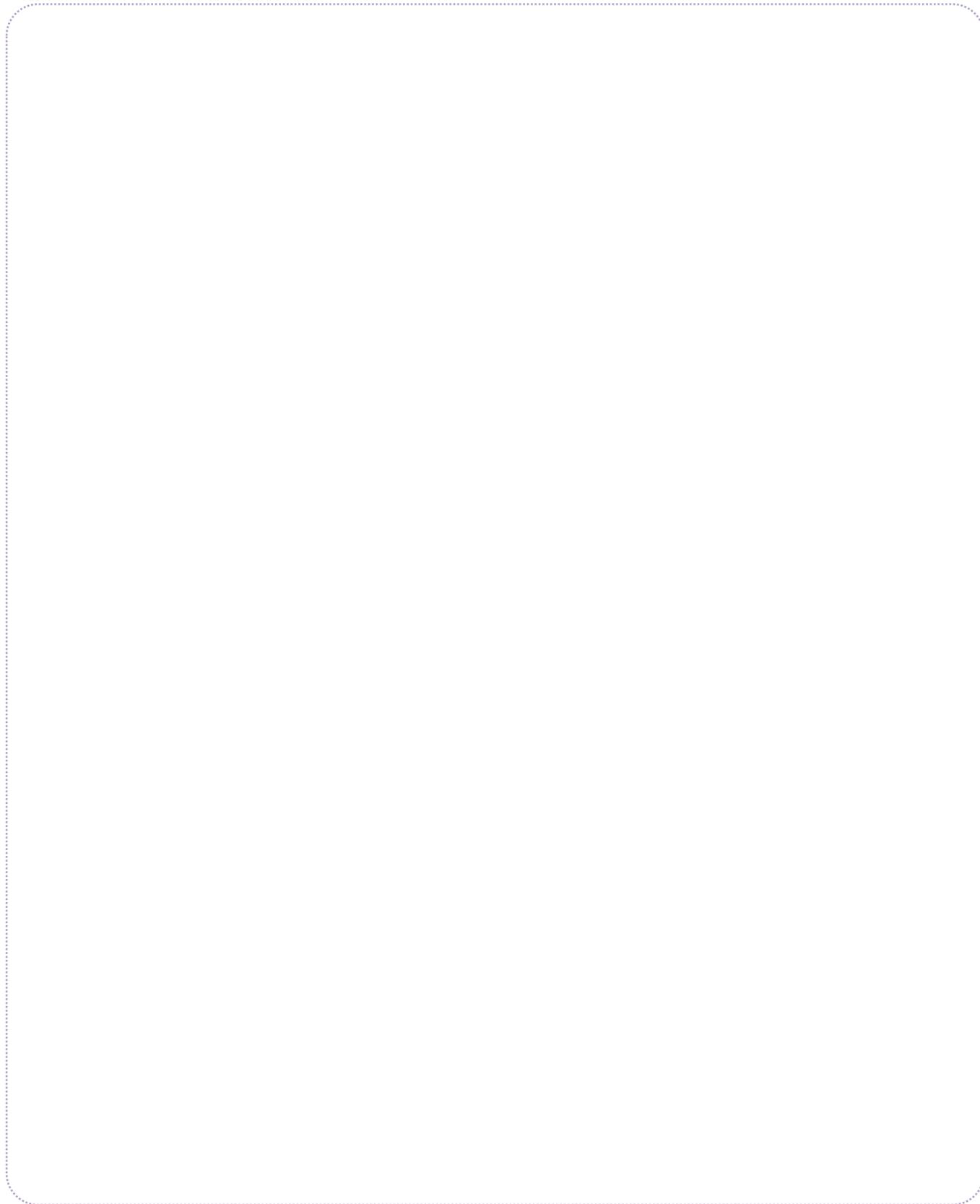
**Atividade 3.4** Mulheres portadoras de mutações nos genes BRCA1 e BRCA2 têm um risco de cerca de 80% de desenvolver câncer de mama e um risco aumentado para câncer de ovário. Testes no DNA de Angelina Jolie revelaram que ela era portadora da mutação nesses dois genes, o que a levou à decisão de se submeter à mastectomia preventiva e a ooforectomia. O caso despertou uma discussão acalorada com crítica diversificada sobre qual é a melhor escolha para portadores de mutações. Com base nas discussões em sala de aula e em outras leituras que você possa fazer, responda aos seguintes itens:

a) Qual sua opinião sobre a decisão de Angelina Jolie de ter retirado os seios mesmo sem câncer?





**Atividade 3.6** Os mapas conceituais <sup>19</sup> são estratégias gráficas para representar e organizar o conhecimento. Os mapas contêm conceitos, geralmente inseridas em caixas de algum tipo, e relações entre os conceitos marcados por uma linha de ligação que liga dois conceitos. Partindo desde conceito, elabore um mapa conceitual, certificando-se de que seu produto reflete seu conhecimento das relações dos conteúdos abordados no fascículo.



---

<sup>19</sup> Para saber mais sobre mapas conceituais consulte TAVARES, R. Construindo mapas conceituais. **Ciências & Cognição**, v. 12, p. 72-85, 2007.

## REFERÊNCIAS

- BIZZO, N. **Biologia: novas bases**. 1. ed. São Paulo: Ática, 2016.
- GODOY, L.; OGO, M. **#CONTATO BIOLOGIA**. 1. ed. São Paulo: Quinteto, 2016.
- JUNQUEIRA, L. C. U. et al. **Biologia celular e molecular**. 9. ed. Guanabara-Koogan, 2012.
- KOLBERT, E. **A sexta extinção: Uma história não natural**. Editora Intrínseca, 2015.
- LOPES, S. ROSSO, S. **Bio**. 3. ed. São Paulo: Saraiva, 2016.
- REECE, J. B. et al. **Biologia de Campbell**. Artmed Editora, 2015.
- SOARES, J. L. **Dicionário Etimológico e Circunstanciado de Biologia**. São Paulo: Scipione, 1993.
- ZAHA, A.; FERREIRA, H. B.; PASSAGLIA, L. M. P. **Biologia Molecular Básica**. 5. ed. Artmed Editora, 2014.