

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E BIOLÓGICAS
LICENCIATURA EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

Luana Lima Del Rio

**A ABORDAGEM DO CONTEÚDO DE GENÉTICA: UMA ANÁLISE DE LIVROS
DIDÁTICOS APROVADOS PELO PNL D 2021**

Sorocaba

2023

Luana Lima Del Rio

**A ABORDAGEM DO CONTEÚDO DE GENÉTICA: UMA ANÁLISE DE LIVROS
DIDÁTICOS APROVADOS PELO PNLD 2021**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas da Universidade Federal de São Carlos campus Sorocaba, para obtenção do grau de Licenciatura em Ciências Biológicas.

Orientação: Prof. Dr. Antonio Fernando Gouvêa da Silva

Coorientação: Prof. Dr. Fernando de Faria Franco

Sorocaba

2023

Del Rio, Luana Lima

A abordagem do conteúdo de genética: uma análise de livros didáticos aprovados pelo PNLD 2021 / Luana Lima
Del Rio -- 2023.
78f.

TCC (Graduação) - Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba, Sorocaba
Orientador (a): Antonio Fernando Gouvêa da Silva
Coorientador (a): Fernando de Faria Franco
Banca Examinadora: Antonio Fernando Gouvêa da Silva, Fernando de Faria Franco, Paula Rodrigues de Oliveira Santos
Bibliografia

1. Genética. 2. Ensino de Genética. 3. Livros didáticos. I. Del Rio, Luana Lima. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática (SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Maria Aparecida de Lourdes Mariano - CRB/8 6979

FOLHA DE APROVAÇÃO

LUANA LIMA DEL RIO

***A abordagem do conteúdo de genética: uma análise de livros
didáticos aprovados pelo PNL D 2021***

**Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência parcial para
obtenção do grau de licenciado no curso de ciências Biológicas – Licenciatura
Plena, da Universidade Federal de São Carlos Campus de Sorocaba.**

Sorocaba, 05 de setembro de 2023.



Orientador: _____
Prof. Dr. Antônio Fernando Gouvêa da Silva



Examinador: _____
Prof. Dr. Fernando de Faria Franco

Examinadora: Paula R. de Oliveira Santos
Ma. Paula Rodrigues de Oliveira Santos

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Sandra e Maurício, por todo amor, dedicação, apoio e compreensão, não medindo esforços para eu concretizar meus sonhos e me aconselhando sempre, principalmente nesta fase tão importante para minha formação.

Ao meu irmão, Bruno, por todo amor e companheirismo, e por me motivar todos os dias a ser uma pessoa melhor e um exemplo para ele.

À minha avó, Iraci, por me acalmar nos momentos de distração tão necessários nos últimos anos.

Às minhas amigas, Vívian e Raquel, por serem minhas companheiras de vida e por sempre me apoiarem e me acolherem tanto nos momentos bons quanto nos difíceis, inclusive durante a realização deste trabalho.

À minha amiga e colega de profissão, Renata, pela sinceridade, pelo apoio e por me mostrar todos os dias que sou boa e mereço minhas conquistas.

Ao meu amigo, Rafael, que mesmo longe sempre se mostra presente e companheiro em todas as fases da minha vida.

Ao meu orientador, Gouvêa, pela confiança e liberdade na condução deste trabalho, e sobretudo, por me incentivar e me mostrar que sou capaz.

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo analisar a forma com que os livros didáticos do ensino médio, aprovados no Programa Nacional do Livro e do Material Didático (PNLD) 2021, abordam conteúdos da Genética e toda sua complexidade. O ensino de Genética, assim como o de Biologia num geral, para que seja eficaz e significativo, deve ser feito a partir dos pressupostos da educação CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade) e da educação emancipadora de Paulo Freire, de modo a formar cidadãos críticos e conscientes de suas realidades, capazes de transformá-la. A Genética constitui uma área complexa em contínuo desenvolvimento, de difícil compreensão e com muitos desafios em seu ensino, sendo o principal a priorização do livro didático como ferramenta de ensino, que possui potencial para a formação de cidadãos críticos, se alinhado com as perspectivas críticas e emancipadoras da educação. Assim, buscou-se analisar como essa área está sendo abordada em oito livros didáticos distribuídos à rede pública de ensino pelo PNLD, utilizando as metodologias de pesquisa qualitativa e análise documental, a partir dos aspectos: I) abordagem da genética e relação com outras áreas da Biologia e Ciências da Natureza; II) Abordagem da história da ciência; III) Complexidade da linguagem e explicação dos conceitos, IV) Aproximação do conteúdo com a vida dos alunos e V) Abordagem da Nova Biologia e Aconselhamento Genético. A partir desses aspectos foi possível observar que há uma preocupação de tornar os livros didáticos menos conteudistas e mais conectados com o desenvolvimento do pensamento crítico dos educandos, fazendo com que o ensino vá de encontro com a educação CTS e a educação emancipadora, apesar de ainda precisarem de constante atenção e atualização.

Palavras-chave: genética; ensino de genética; livros didáticos

ABSTRACT

The present work aims to analyze how high school textbooks, approved in the National Textbook and Learning Material Program (PNLD) 2021, approach Genetics content and all its complexity. The teaching of Genetics, as well as that of Biology in general, to be effective and meaningful, must be based on the assumptions of STS education (Science, Technology, and Society) and the progressive education of Paulo Freire, to form critical citizens and aware of their realities, capable of transforming them. Genetics is a complex area in continuous development, difficult to understand and with many challenges in its teaching, the main one being the prioritization of the textbook as a teaching tool, which has the potential for the formation of critical citizens, if aligned with critical and emancipatory perspectives of education. Therefore, sought to analyze how this area is being approached in eight textbooks distributed to the public school system by the PNLD, using qualitative research and document analysis methodologies, based on the aspects: I) approach to genetics and relation with other areas of Biology and Natural Sciences; II) Approach of the history of science; III) Language complexity and explanation of concepts, IV) Approaching content to students' lives and V) Approach of New Biology and Genetic Counseling. From these aspects, it was possible to observe that there is a concern to make textbooks less content-oriented and more connected with the development of student's critical thinking, making teaching go against STS education and emancipatory education, despite still needing constant attention and updating.

Keywords: genetics; genetics teaching; textbooks

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Página 125 do livro F.....	56
Figura 2 - Recorte da página 125 do livro F.....	58
Figura 3 - Recorte da página 126 do livro H.....	58
Figura 4 - Recorte da página 53 do livro D.....	60
Figura 5 - Recorte da página 152 do livro F.....	62
Figura 6 - Recorte da página 149 do livro H.....	63

LISTA DE ABREVIATURAS

BNCC - Base Nacional Comum Curricular

CT - Ciência e Tecnologia

CTS - Ciência, Tecnologia e Sociedade

DNA - Ácido desoxirribonucleico

ESALQ - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz

FFCL - Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras

IAC - Instituto Agronômico de Campinas

PCNEM - Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio

PCN+ - Parâmetros Curriculares Nacionais

PNLD - Plano Nacional do Livro Didático

RNA - Ácido ribonucleico

THC - Teoria de Herança Cromossômica

USP - Universidade de São Paulo

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 HISTÓRIA DA GENÉTICA: UMA CONTEXTUALIZAÇÃO	18
2.1 HEREDITARIEDADE DA ANTIGUIDADE.....	18
2.2 DA CONSOLIDAÇÃO DO PRINCÍPIO DA HEREDITARIEDADE À DESCOBERTA DA DUPLA HÉLICE DO DNA.....	21
2.3 HISTÓRIA DA GENÉTICA NO BRASIL.....	25
2.4 DESENVOLVIMENTO DA GENÉTICA HUMANA NO BRASIL.....	26
2.5 NOVA BIOLOGIA E ACONSELHAMENTO GENÉTICO.....	28
3 A GENÉTICA NO ENSINO DE BIOLOGIA	30
3.1 ENSINO DE GENÉTICA E GENÉTICA HUMANA.....	30
3.2 DESAFIOS E DIFICULDADES DO ENSINO DE GENÉTICA E GENÉTICA HUMANA.....	34
3.3 ENSINO DE BIOLOGIA E EDUCAÇÃO CTS.....	38
3.4 EDUCAÇÃO CTS E A PEDAGOGIA DE PAULO FREIRE.....	40
3.5 ACONSELHAMENTO GENÉTICO E ENSINO DE GENÉTICA: UMA POSSIBILIDADE.....	43
4. METODOLOGIA	46
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
5.1 ANÁLISE DOS CONTEÚDOS DE GENÉTICA EM LIVROS DIDÁTICOS DO ENSINO MÉDIO.....	50

5.1.1. Abordagem da genética e relação com outras áreas da Biologia e Ciências da Natureza.....	51
5.1.2. Abordagem da história da ciência nos conteúdos de Genética.....	54
5.1.3. Complexidade da linguagem e explicação dos conceitos.....	57
5.1.4. Aproximação dos exemplos com o cotidiano dos alunos.....	59
5.1.5. Abordagem da Nova Biologia e do Aconselhamento Genético.....	61
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	65
REFERÊNCIAS.....	68
ANEXOS.....	73

1. INTRODUÇÃO

Quando entrei no curso de Licenciatura em Ciências Biológicas, em 2019, dizia que jamais seria professora e que só estava naquele curso pois não havia passado no que eu queria. Acredito que essa é a realidade de muitos dos licenciandos, pois poucos são os que têm a docência como desejo e prioridade.

Por muito tempo continuei com esse pensamento, com essa repulsa com o ato de ensinar até que fui me permitindo, aos poucos, a entender melhor o mundo da docência. Depois de tirar o preconceito que eu tinha com a ideia de ensinar, decidi levar as aulas mais a sério, me dedicar aos estudos e me entregar por completo nos estágios na escola, e foi aí que tudo mudou. Eu me apaixonei por esse mundo e comecei um processo de reflexão sobre minha trajetória, percebendo que talvez eu tenha me apaixonado muito antes.

Minha relação com a Biologia e com a docência começou cedo, de forma sutil e ingênua. Lembro-me com detalhes que, quando criança, costumava folhear os livros de uma tia, coincidentemente bióloga e professora, escolhendo sempre o mesmo, procurando as mesmas páginas e observando por muito tempo as imagens de animais, pensando em como eles eram interessantes e diferentes. Depois que lia as características dos animais e suas curiosidades, ia correndo contar para meus primeiros alunos em minha primeira sala de aula: meu quarto repleto de bonecas enfileiradas, que me ouviam atentamente.

Por muitos anos, sem me dar conta de como essas brincadeiras significariam em minha vida lá na frente, ensinei minhas bonecas sobre tudo que aprendia e minha sala de aula foi ficando cada vez mais organizada. Ganhei uma lousa, uma caixinha de giz, desenhava crachás com meu nome e todas as noites, depois de aprender na escola, corria para ensinar na minha. Mal sabia eu que, enquanto aprendia, também ensinava, e enquanto ensinava, também aprendia.

Uma memória que tenho preservada é de um trabalho que fiz no ensino fundamental para um evento do colégio, no qual minha sala falaria sobre animais e eu fiquei responsável por falar sobre os patos. Lembro-me exatamente da cena, de estar sentada na mesa da sala de casa escrevendo na cartolina rosa e depois

treinando a apresentação com minhas bonecas-alunas, toda orgulhosa por saber que apresentaria para meus colegas e pais, ensinando mais uma vez.

Aos poucos minha sala de aula foi se modificando, eu parei de dar aulas para as bonecas, mas continuava a escrever na lousa, dessa vez uma branca que ganhei de aniversário aos 12 anos e disse que foi o melhor presente que já havia ganhado. Reproduzir com minhas canetas coloridas o que os professores passavam na escola, como se eu mesma fosse minha professora, me ajudava nos estudos e, de certa forma, ainda me mantinha próxima da brincadeira que tomava meus dias.

Conforme eu ia crescendo, entendendo o que era a escola (ou achando que estava entendendo), meus pensamentos foram seguindo outros caminhos e eu fui deixando de gostar de ensinar. A desgastante rotina escolar, as semanas de prova, o pouco contato com o professor, a pressão dos vestibulares, tudo parecia me fazer caminhar no sentido oposto do que vivi na infância e lecionar não era uma opção nem para brincadeiras.

Curiosamente, apesar de ter adquirido uma aversão com o ato de ensinar, dei várias aulas de reforço para meu irmão e seus amigos e, apesar de não entender o que significava (ou talvez não aceitar), eu me sentia feliz quando via que eles tinham entendido o que eu havia ensinado.

Todo esse resgate foi necessário para entender minha trajetória a partir da minha aprovação na Licenciatura em Ciências Biológicas. Sempre disse que só entrei na licenciatura por não ter passado no bacharelado, e isso realmente é verdade, mas nunca me perguntei o porquê de eu nunca ter desistido. Com a possibilidade de solicitar transferência, mudar de curso ou continuar no cursinho pré-vestibular para tentar mais um ano, por que eu escolhi continuar?

Durante o primeiro ano da faculdade eu disse inúmeras vezes que aquilo não era para mim e que eu jamais daria aula, mas eu continuava fazendo as disciplinas e, sem perceber, me interessava demais por tudo que aprendia. Em passos pequenos a docência foi me (re)conquistando, fui me libertando da aversão que tinha com o ato de ensinar e decidi que já que estava ali, queria aprender direito como se fazia.

A época de fazer os estágios chegou e eu resolvi me entregar por completo como professora de Ciências e de Biologia. Ouvir os alunos me chamarem de "prô

Lu", ver que eles estavam entendendo aquilo que eu estava explicando, e ouvir que eles não queriam que eu saísse da escola encheu meu coração e eu tive certeza de que gosto de ensinar. Durante toda a vivência que os estágios me proporcionaram, entrei num processo de reflexão e percebi todos os detalhes que relatei aqui em cima e que nunca havia reparado. Nunca tinha dado atenção a todos os meus atos de ensinar, desde pequenininha, e em como isso significou para mim.

Além do carinho e do retorno que os alunos me deram, uma conversa com a mãe de uma aluna também marcou minha história com a docência. Após ouvir os relatos da filha, ela veio me dizer que eu estava fazendo diferença na vida dos alunos, que eu consegui conquistar uma aproximação diferente com eles, a qual eles não conseguem com a maioria dos professores e sentem falta. Disse que talvez eu não perceba isso e que talvez eu não acredite tanto em mim ainda, mas que minha passagem pelo colégio foi muito bonita e significativa para os alunos e minha trajetória na docência será grandiosa.

Ouvir tudo isso me emocionou e me motivou a continuar estudando para sempre tentar fazer o certo e o melhor para meus alunos. Me fez acreditar mais ainda que quem ensina aprende todos os dias com quem aprende, e quero continuar aprendendo com quem aprende comigo.

Durante os estágios e depois quando já estava trabalhando na escola, percebi, também, que meu fascínio pela área da Genética ia além da vontade de estudar sobre ,eu amava explicá-la também. No entanto, percebi que os alunos, nas minhas aulas e de outros professores de Biologia, possuíam pouco interesse sobre essa área e a consideravam muito difícil.

Essa percepção estava presente também quando conversava com meus colegas da faculdade. É comum perguntarmos em que área o outro quer seguir quando terminar o curso e durante os quatro anos da graduação eu nunca ouvi um colega repetir a mesma resposta que eu: Genética.

A existência dessa dificuldade passou a me intrigar e comecei a querer entender o porquê das pessoas acharem complexa e terem repulsão por uma área tão linda, que rege toda nossa vida. Me perguntava se a dificuldade estaria totalmente relacionada à complexidade da área ou se outros motivos poderiam

existir, como a forma com que é ensinada, como é apresentada nos materiais didáticos e se os alunos conseguem enxergar a genética no seu cotidiano.

Somado a isso, após passar uma semana no Instituto de Biociências da USP e no Instituto Genoma, conhecendo os serviços, laboratórios, testes genéticos, serviços de aconselhamento genético e todos os estudos por trás da área que pretendo seguir, a Genética, vi que podia articular as duas coisas.

Durante minha semana no IB/USP e no Instituto Genoma vi que os serviços de aconselhamento genético eram, na prática, tudo aquilo que aprendi nas aulas que versavam sobre a pedagogia de Paulo Freire. Além de toda a parte da ciência e da explicação genética e médica, o aconselhamento genético também busca que as situações das pessoas sejam colocadas em contexto, de modo a colocar estas de frente com suas realidades, e que, com toda a informação que lhes é transmitida e ensinada, desenvolvam o pensamento crítico necessário para tomarem decisões conscientes sobre suas próprias vidas.

Desse modo, escolhi fazer um trabalho que evidenciasse a complexidade da Genética, como é e como deve ser feito seu ensino, citando dificuldades e desafios do mesmo que mais aparecem na literatura, como a grande quantidade de conceitos e terminologias, falta de contextualização histórica dos temas, falta de aproximação dos conteúdos com a realidade e cotidiano dos alunos, inexistência de relação da Genética com outros temas da Biologia e a necessidade de um ensino atualizado e consoante com as novas tecnologias e serviços.

Um dos problemas mais citados na literatura é a priorização do livro didático (Araujo, 2017; Santos, 2018; Lopes, 2023), principal ferramenta de apoio ao processo de ensino aprendizagem e que tende a conter todos os aspectos citados acima. No Brasil, o Programa Nacional do Livro e do Material Didático (PNLD) aprova e prevê a distribuição de livros didáticos para as escolas públicas de educação básica das redes federal, estaduais, municipais e distrital.

A educação básica pública no Brasil é historicamente dominante: há anos as matrículas no ensino médio da rede pública mantêm-se acima dos 86% do total de matrículas (em rede pública e privada), evidenciando a necessidade de um ensino de qualidade e eficaz (Mattos e Faria, 2022).

Uma vez que a maioria dos estudantes do ensino médio está matriculada na rede pública de ensino e possui potencial para tornarem-se cidadãos críticos em nossa sociedade e visto que a Genética é uma área importante para essa formação e que os livros didáticos são uma ferramenta significativa no processo de ensino, orientei meu trabalho a partir da indagação: *a abordagem da Genética nos livros didáticos distribuído à rede pública está condizente com as necessidades que um processo de ensino-aprendizagem significativo e emancipador possui?*

Para isso, foi feita uma pesquisa qualitativa, através de análise documental de livros didáticos aprovados pelo Programa Nacional do Livro e do Material Didático 2021, que aprova e prevê a distribuição de livros para as escolas públicas brasileiras.

A análise teve como objetivo verificar a existência de conteúdos de Genética nos livros de Ciências da Natureza e suas Tecnologias destinados ao Ensino Médio, observando como a área é abordada, se os problemas relacionados ao ensino aparecem nos livros e se estes buscam estimular o desenvolvimento do pensamento crítico dos alunos, um dos objetivos da educação com enfoque Ciência-Tecnologia-Sociedade e um dos pressupostos da pedagogia emancipadora de Paulo Freire.

No primeiro capítulo, que foi dividido em cinco partes, busco fazer uma contextualização da história da Genética, com as principais descobertas das últimas décadas, de modo a esclarecer que o assunto realmente é complexo e cheio de detalhes.

A primeira parte, intitulada “Hereditariedade da Antiguidade”, fala sobre as concepções de hereditariedade de Hipócrates, Aristóteles e Charles Darwin. Na segunda, intitulada “Da consolidação do princípio da hereditariedade à descoberta da dupla hélice do DNA” procuro relatar os principais acontecimentos na área da Genética, desde os modelos de transmissão de características mendeliano até a descoberta da estrutura de dupla hélice do DNA. Na terceira e quarta parte, intituladas “História da Genética no Brasil” e “Desenvolvimento da Genética Humana no Brasil”, cito como essa área, que intrigava tanto os cientistas, se estabeleceu no Brasil e como que ela passou a ser vista no contexto do corpo humano. Na quinta

parte, “Nova Biologia e Aconselhamento Genético”, apresento o desenvolvimento dessa área e que, no decorrer do trabalho, relacionarei com o processo de ensino.

O segundo capítulo, dividido em quatro partes, fala sobre o processo de ensino e aprendizagem de Genética no ensino médio brasileiro. Na primeira e segunda parte do capítulo, “Ensino de Genética e Genética Humana” e “Desafios e dificuldades do ensino de Genética”, respectivamente, falo especificamente sobre o ensino de Genética e Genética humana, como ele deveria ser realizado e os principais pontos em comum citados na literatura como dificuldades no processo de ensino.

Na terceira parte, “Ensino de Biologia e Educação CTS” busco explicitar como é e como deveria ser feito o ensino de Biologia, a partir dos pressupostos do enfoque Ciência-Tecnologia-Sociedade. Na quarta parte, “Educação CTS e a pedagogia de Paulo Freire” busco articular o que foi dito no tópico anterior com a necessidade de se fazer um ensino com base na pedagogia emancipadora proposta por Paulo Freire.

Na quinta parte do capítulo, “Aconselhamento genético e ensino de Genética: uma possibilidade”, articulo o ensino de Genética com o processo de aconselhamento genético, indicando as possíveis contribuições que a abordagem deste tema nas aulas de Genética pode trazer.

O quarto capítulo traz uma breve introdução sobre os livros didáticos utilizados no Brasil, seguido de uma análise documental de livros didáticos de Ciências da Natureza aprovados pelo Programa Nacional do Livro e do Material Didático de 2021, que tem como objetivo apresentar e discutir a forma com que os conteúdos de Genética são apresentados aos alunos, dada à importância do livro didático no processo de ensino.

2. HISTÓRIA DA GENÉTICA: UMA CONTEXTUALIZAÇÃO

A Genética moderna tem pelo menos 123 anos, marcada pelo reconhecimento dos trabalhos de Gregor Mendel em 1900, e envolve inúmeros achados e conceitos que, na visão de alunos e professores (Moura, 2013; Araújo, 2017; Belmiro, 2017; Wood-Robinson, 2000), são de difícil compreensão. Apesar de extremamente importante para o entendimento da vida, a Genética, enquanto disciplina específica na escola, não é bem aceita devido à complexidade do assunto e à maneira com que os temas são abordados em sala de aula, sem envolver os educandos no que estão estudando.

Desse modo, para entender a dificuldade dos educandos, é preciso entender a complexidade do assunto. Para isso, uma contextualização da história da Genética será feita, bem como a trajetória da Genética no Brasil e as aplicações atuais dessa área.

2.1 HEREDITARIEDADE DA ANTIGUIDADE

O princípio da hereditariedade começou a ser discutido na antiguidade. Havia um consenso de que as qualidades e atributos corporais eram passados de pai para filho, mas o mecanismo envolvido ainda era um mistério e havia ideias muito vagas sobre tal (Mayr, 1998).

Alguns filósofos exerceram influência com suas propostas de transmissão hereditária das características. O primeiro foi Hipócrates (cerca de 460-377 a.C.), que pensava que a “substância seminal” era proveniente de todas as partes do corpo, uma vez que pais com olhos azuis geravam filhos com olhos azuis e pais com cabelos loiros geravam filhos com cabelos loiros. Hipócrates acreditava também que, se uma parte do corpo do progenitor fosse defeituosa, sua prole nasceria com a mesma característica (Mayr, 1998).

Outro filósofo que influenciou os estudos da hereditariedade foi Aristóteles (384 a.C - 322 a.C). O filósofo acreditava que a participação do macho e da fêmea na herança eram diferentes: o sêmen masculino possuía alguma substância responsável pela herança das características, um princípio gerador da forma, o

eidos, enquanto a fêmea contribui com seu sangue menstrual, o qual seria moldado pelo *eidos* (Mayr, 1998).

Na modernidade, no século XIX, Herbert Spencer (1820-1903), filósofo inglês, propôs uma teoria de herança que pressupunha que os responsáveis pela transmissão dos caracteres para as próximas gerações eram “unidades fisiológicas” vivas, presentes em todas as células do corpo, que seriam capazes de se auto-organizar e regenerar-se (Polizello, 2012).

Na mesma época, Charles Darwin (1809-1872), grande nome da Biologia e da evolução, propôs a teoria da pangênese, que se baseia na proposta de que toda a organização corporal é capaz de reproduzir a si mesmo, por meio de suas partes. Outra característica da pangênese é a da continuidade das características, por meio da alternância entre a formação do corpo e, através dele, a formação da substância seminal, que se convertia em um novo corpo diretamente pelo processo de crescimento (Arcanjo, 2017. p.709)

Em seu livro *The variation of animals and plants under domestication*, Darwin (1868, p.374), diz:

Eu presumo que as células, antes de sua completa conversão em material completamente passivo ou ‘material formado’, liberam pequenos grânulos ou átomos, que circulam livremente através do sistema e, quando nutridos apropriadamente, multiplicam-se por auto divisão, transformando-se subsequentemente em células como aquelas das quais derivam. Esses grânulos, por questão de distinção, podem ser chamados gêmulas celulares, ou, como a teoria celular ainda não se encontra completamente estabelecida, apenas gêmulas. Elas supostamente são transmitidas dos parentais para a progênie, e, geralmente, se desenvolvem na geração seguinte, mas, frequentemente, são transmitidas em estado dormente por várias gerações até que então se desenvolvem. O desenvolvimento das gêmulas é, supostamente, dependente da união destas com outras células ou gêmulas parcialmente desenvolvidas que lhe precedem no curso regular de crescimento... Gêmulas, supostamente, são liberadas por toda célula ou unidade [do corpo], não apenas no estado adulto, mas durante todas as etapas do desenvolvimento. Por fim, eu presumo que as gêmulas em seu estado dormente apresentam uma afinidade mútua entre si, levando a sua agregação nas sementes ou órgãos sexuais. Portanto, estritamente falando, não é o sistema reprodutivo, nem as sementes, que são responsáveis pela geração de novos organismos, mas sim as células do corpo propriamente ditas (Darwin, 1868, p.374).

Darwin também acreditava que haveria uma variedade de gêmulas, que seriam produzidas ou expelidas pelas células que compõem os órgãos do corpo, desse modo possuiriam somente a informação restrita àquele órgão (Del Cont, 2008). Essa teoria contrastava com as unidades fisiológicas de Herbert Spencer, que seriam idênticas em um indivíduo (Mayr, 1982).

Segundo a teoria de Darwin, todas as características de um organismo teriam a tendência de serem transmitidas, sendo que algumas características poderiam manifestar-se tardiamente e outras poderiam estar ligadas não aos progenitores, mas sim a um outro ancestral (Del Cont, 2008).

As hipóteses de Spencer e Darwin não possuíam base empírica e não se preocupavam em estabelecer relações com evidências citológicas ou experimentais (Polizello, 2012). Apesar de a hipótese de Darwin explicar algumas particularidades da herança dos caracteres adquiridos pelo uso e desuso, muito aceita naquela época, foi colocada em dúvida por Francis Galton (1822-1911), primo de Darwin.

Inicialmente, Galton acreditava na teoria da pangênese e que a transmissão das características não se limitava apenas aos aspectos físicos, mas também à inteligência e habilidades, dando origem à eugenia (Del Cont, 2008). Desse modo, entusiasmou-se com a possibilidade de analisar estatisticamente a teoria e concentrou-se nas implicações da teoria de Darwin para o homem. Em um artigo publicado em 1872, afirmou que seu objetivo era

analisar e descrever a complicada conexão que une um indivíduo hereditariamente, a seus pais e a seus irmãos e irmãs e, ainda, por extensão de uma ligação similar, a seus parentes mais distantes (Galton, 1872, p. 394).

Galton considerava crucial o comportamento da teoria após os testes uma vez que, mesmo munido de elementos que asseguravam sua proposta eugênica, ela também sugeria que o meio e o uso e desuso poderiam causar modificações no organismo, modificando as gêmulas também (Del Cont, 2008).

Para testar matematicamente e estatisticamente a teoria, Galton realizou transfusões de sangue em coelhos para verificar a presença das gêmulas na prole após vários cruzamentos. Os resultados dos experimentos não foram os esperados e Galton concluiu que a teoria da pangênese era incorreta, já que não poderia ser confirmada com a experimentação (Del Cont, 2008).

2.2 DA CONSOLIDAÇÃO DO PRINCÍPIO DA HEREDITARIEDADE À DESCOBERTA DA DUPLA HÉLICE DO DNA

A Genética moderna se consolidou com o reconhecimento (“redescoberta”) dos resultados obtidos por Johann Gregor Mendel (1822 - 1884), um monge austríaco que dedicou parte de sua vida aos estudos da hibridização e tornou-se responsável pela proposição de princípios básicos de hereditariedade. Através do cruzamento de híbridos de ervilha-de-cheiro, obtidos de linhagens puras da mesma, Mendel observou que as características - como cor e textura da vagem - eram passadas de geração em geração através de dois fatores, que mais tarde foram definidos como alelos, sendo um dominante e um recessivo (Mukherjee, 2016).

Após entender a dominância e recessividade dos fatores, Mendel quis estudar a propagação de mais de uma característica em um só cruzamento. Com os resultados, observou que a transmissão de duas ou mais características, cada qual com seus dois fatores, era independente. Ele então enunciou seus postulados em duas leis: Lei da Segregação dos Fatores (Primeira lei de Mendel) e na Lei da Segregação Independente (Segunda Lei de Mendel) (Mukherjee, 2016).

Apesar de significativos, os estudos do Mendel ficaram esquecidos até o começo dos anos 1900, quando os botânicos Hugo de Vries, Carl Correns, e Erich von Tschermak-Seysenegg, que também se dedicavam aos estudos da hereditariedade, redescobriram, independentemente, as leis de Mendel. Os três estudiosos, até então, acreditavam estar lidando com um conhecimento novo sobre a transmissão de características e, por certo tempo, relutaram em aceitar as leis descritas por Mendel três décadas antes (Mukherjee, 2016).

William Bateson (1861-1926), biólogo inglês que também estudava a hereditariedade, também redescobriu os trabalhos de Mendel, porém foi menos relutante a aceitar suas proposições e fez questão que os estudos de Mendel fossem difundidos e estudados pelo mundo, dedicando-se à continuidade desse estudo, com o objetivo de decifrar as leis da hereditariedade. Com a popularização de seus estudos, Bateson se viu na necessidade de criar uma disciplina específica para seu estudo e, em 1906, cunhou o termo “Genética”, ao qual atribuiu significado de estudo da hereditariedade e variação (Mukherjee, 2016; Gayon, 2016).

Os estudos de Bateson continuaram e, com muitos opositores que se recusavam a aceitar suas proposições e as de Mendel, se viu na necessidade de entender mais profundamente as “unidades de hereditariedade”, uma vez que estas pareciam estar intimamente ligadas em todos os aspectos da Biologia. Foi então que o botânico Wilhelm Johannsen cunhou o termo “gene”, atribuindo significado de unidades de hereditariedade (Gayon, 2016).

Johannsen ressaltou que a palavra gene estava “isenta de hipóteses”. Ela expressa apenas o evidente fato de que muitas características do organismo são especificadas de modos únicos e independentes, indo de encontro ao que foi proposto por Mendel (Mukherjee, 2016).

A discussão sobre os genes continuou por muitos anos, mas ele parecia não possuir uma identidade própria e havia poucas respostas para as perguntas sobre essa unidade de hereditariedade recém descoberta. A pergunta “onde os genes poderiam ser encontrados dentro das células?” foi respondida por Walter Sutton e Theodor Boveri.

A hipótese Sutton-Boveri (1902-1903) foi a primeira a afirmar que o comportamento dos cromossomos durante a meiose poderia explicar os padrões de segregação dos fatores mendelianos, uma vez que os fatores estariam contidos nos cromossomos e a divisão celular seria a base para as leis de Mendel (Santos, 2015; Gayon, 2016).

Naquele período havia várias hipóteses diferentes, às vezes conflitantes, sobre a associação dos dois elementos, mas a hipótese Sutton-Boveri ganhou aceitação gradativa, apesar de ter sido inicialmente contestada, inclusive por Thomas Hunt Morgan, cientista que posteriormente influenciou fortemente a aceitação da hipótese na comunidade científica.

A fusão da teoria dos cromossomos com a segregação dos fatores de Mendel culminou na Teoria Cromossômica da Herança (THC) (Santos, 2015) e forneceu fundamento para a primeira lei de Mendel, explicando como um zigoto recebe apenas uma versão de um determinado gene de cada progenitor, e para explicar as exceções da segunda lei, uma vez que esta não se aplica quando dois genes localizados no mesmo cromossomo segregam juntos. A partir disso, Morgan propôs

o fenômeno do crossing-over, pareamento de cromossomos homólogos que permite que estes troquem trechos de DNA entre seus filamentos (Gayon, 2016).

Na década de 1920, a THC tornou-se parte essencial da Genética, conferindo maior conhecimento sobre os genes e permitiu atribuir significado à “mutação”, palavra vista com preconceito até os dias de hoje, definida como uma alteração local de um cromossomo, ou seja, um alelo (ou fator), foi transformado em outro (Gayon, 2016).

Mesmo com todo avanço no conhecimento, não se sabia do que os genes eram compostos, como a informação era transmitida de geração em geração, nem como a informação sabia que tinha que ser aquela e não outra. Passou-se a estudar os genes não só com relação à hereditariedade, mas com relação à evolução e ao meio ambiente (Mukherjee, 2016).

Theodosius Dobzhansky, biólogo ucraniano, foi o principal estudioso nessa questão. Com o estudo de populações de *Drosophila pseudoobscura*, a mosca-da-fruta, Dobzhansky provou a interseção entre Genética, seleção natural e evolução ao propor dois conceitos: genótipo e fenótipo, palavras cunhadas também por Johannsen (Mukherjee, 2016; Gayon, 2016). Genótipo é a composição Genética de um organismo, podendo ser um único gene, um conjunto de genes ou o genoma completo, e fenótipo são as características físicas ou biológicas do mesmo organismo.

Dobzhansky reafirmou as proposições de Mendel: um gene determina uma característica física, ou um genótipo determina um fenótipo, de maneira geral. Mas foi preciso ir além disso. O biólogo propôs que o ambiente, juntamente com o genótipo, poderia alterar o fenótipo de um organismo (Mukherjee, 2016).

Foi no começo dos anos 1920 que a molécula de DNA começou a ser descoberta. Friedrich Griffith, bacteriologista inglês, descobriu que os genes eram compostos químicos ao estudar a “transformação bacteriana” do *Streptococcus pneumoniae*, causadora da pneumonia, tornando esse um episódio importante na trajetória da identificação do DNA. Com seus experimentos, Griffith observou que linhagens de bactérias pneumococos não virulentas e atenuadas, sob certas condições, tornavam-se virulentas, indicando a presença de um “princípio transformante”, que mais tarde seria identificado como o DNA (Bevilaqua, 2022).

Ao mesmo tempo, Hermann Muller, ex-aluno de Thomas Morgan, começou a estudar mutações em drosófilas. Ao expor as moscas a raios x, Muller conseguiu obter uma taxa alta de mutações, provando que, se era possível alterar o fenótipo das moscas com energia, o genótipo precisaria ser constituído de matéria (Mukherjee, 2016).

Oswald Avery, juntamente com um grupo de cientistas e com base no experimento de Griffith, separou moléculas de DNA, RNA, carboidratos e lipídios, repetindo os mesmos procedimentos de inoculação de bactérias em camundongos. Com isso, foi possível verificar que somente a amostra contendo DNA foi capaz de transformar as bactérias, conferindo-lhes a patogenia (Mukherjee, 2016).

Avery percebeu que a fração de DNA mantinha sua capacidade transformante quando tratada com enzimas específicas para clivar proteínas, mas o mesmo não acontecia quando tratada com enzimas específicas para clivar o DNA, provando que a molécula era capaz de transformar bactérias não patogênicas. Desse modo, os resultados evidenciaram que era a molécula de DNA que armazenava a informação (Oliveira, 2004).

Nessa época, os bioquímicos já conheciam ácidos nucleicos e proteínas e também já sabiam que os ácidos nucleicos formavam o DNA, mas não se sabia ainda que era essa molécula que continha a informação genética. No início dos anos 1950, Erwin Chargaff (1905-2002) propôs, indo contra o pensamento da época, que os quatro nucleotídeos não estavam presentes em proporções estáveis e organizavam-se aos pares ao invés de longas sequências de quartetos (Mukherjee, 2016).

Com destaque sob os holofotes, a molécula de DNA continuou a intrigar os cientistas e procurava-se, agora, desvendar sua estrutura. Os responsáveis pela descoberta foram James Watson e Francis Crick (1916-2004), com a utilização da informação crucial dada por Chargaff: a proporção 1/1 das purinas e pirimidinas (AT e GC), indicando que as bases estavam dispostas aos pares (Mukherjee, 2016).

O resultado que encontraram foi uma estrutura de dupla hélice helicoidal e que suas duas fitas se conectam por uma sequência de pares de base (uma purina e uma pirimidina). Pouco tempo depois, descobriu-se que existem quatro pares de

bases possíveis (AT, TA, CG, GC), que determinam a informação genética (Oliveira, 2004).

A dupla-hélice de Watson e Crick ajustava-se tão perfeitamente a todas as descobertas que foi aceita quase de imediato no mundo todo e sanou todas as dúvidas que ainda existiam sobre o DNA ser ou não o verdadeiro material genético, constituindo um dos eventos científicos mais importantes do século passado.

2.3 HISTÓRIA DA GENÉTICA NO BRASIL

No Brasil, as ideias de Mendel começaram a se disseminar primeiramente nas escolas de agronomia. Carlos Teixeira Mendes, professor da Escola Agrícola Prática de Piracicaba, foi um dos primeiros e principais estudiosos a colocar a Genética em pauta através de seus estudos sobre sementes e seleção, resultando no melhoramento de culturas agrícolas como milho, café e cana de açúcar. Anos mais tarde, a escola tornou-se Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ), uma das unidades da Universidade de São Paulo (Araújo, 2004).

Dois colegas de Mendes também ensinaram Genética em Piracicaba. Otávio Domingues era professor de zootecnia e mantinha-se atualizado nos estudos de *Drosophila* da escola de Thomas Morgan. Já Salvador de Toledo Piza era professor de zoologia e teve um papel importante na difusão da Genética, padronizando sua terminologia técnica na língua portuguesa e contribuindo para a difusão da visão de que o cromossomo seria a unidade da hereditariedade (Araújo, 2004).

Em meados dos anos 1930, o refugiado geneticista alemão Friedrich Brieger (1900-1985) é convidado para fundar um departamento de Genética na ESALQ-USP. Antes, Brieger havia recebido uma bolsa de estudos da Fundação Rockefeller¹ para estudar Genética nos Estados Unidos e, com o término da bolsa, é convidado a trabalhar com Carl Correns no instituto Kaiser Wilhelm, na Alemanha, um dos principais cientistas que reconheceram as ideias de Mendel (Cunha, 2010).

A escola, no entanto, não possuía um núcleo de estudos sobre Genética, tampouco um departamento específico para tal. Foi André Dreyfus (1897-1952),

¹ A Fundação Rockefeller é uma fundação criada nos Estados Unidos da América que tem como objetivo promover o estímulo à pesquisa, ao ensino e à saúde pública (FORMIGA, 2018; GLICK, 2003).

médico brasileiro formado pela Faculdade de Medicina do Rio de Janeiro, o responsável pela criação de um núcleo de estudos de Genética na recém-criada USP e nome importante para a institucionalização da Genética no país.

A Fundação Rockefeller também o auxiliou a trazer ao Brasil o geneticista ucraniano Theodosius Dobzhansky, da Universidade Columbia (EUA), cientista responsável por introduzir o estudo da Genética das drosófilas no Brasil, aumentando as linhas de pesquisa em Genética. Os dois estudiosos, mais tarde, formariam a Escola de Genética Dreyfus-Dobzhansky (Formiga, 2018).

Os trabalhos de Mendes, e de todos os outros nomes importantes que vieram em seguida a ele, incentivaram a escola de agronomia de Campinas a seguir os mesmos passos.

Até os anos 1930, a grande maioria dos pesquisadores que foram para o Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) eram formados pela ESALQ/USP. O IAC possuía cientistas dedicados ao estudo da genética, principalmente ao melhoramento do café, como Alcides Carvalho e Carlos Arnaldo Krug, este último responsável por implantar a Genética no instituto e usá-la para o melhoramento de café, milho e fumo (Formiga, 2018; Souza, 2013).

As pesquisas de Krug e suas especializações no exterior, como em genética vegetal na Universidade de Cornell, nos EUA, permitiram colocar o IAC como um dos principais centros de pesquisa agrícola e melhoramento genético do estado de São Paulo (Souza, 2013).

A ESALQ/USP e o Instituto Agrônomo de Campinas foram responsáveis, também, por oferecer os primeiros cursos específicos de Genética no Brasil, estimulando o ensino de ciências experimentais (Souza, 2013).

2.4 DESENVOLVIMENTO DA GENÉTICA HUMANA NO BRASIL

Os estudos em Genética humana começaram a se desenvolver no Brasil pelas mãos de André Dreyfus, Theodosius Dobzhansky e Crodowaldo Pavan, a partir dos estudos da Genética de drosófilas (Formiga, 2018; Frota-Pessoa, 2003). Em uma viagem aos Estados Unidos, patrocinada pela Fundação Rockefeller, Dreyfus convidou Dobzhansky para iniciarem um projeto de pesquisa em seu

departamento na recém fundada Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras/USP (FFCL) (Formiga, 2018).

A partir da chegada de Dobzhansky ao Brasil, em 1943, a Genética de populações se estabeleceu na FFCL, com a *Drosophila* sendo seu modelo de estudo. Inicia-se, então, a formação de uma escola de Genética tropical na USP, a Escola de Genética Dreyfus-Dobzhansky, que daria origem a uma geração de cientistas dedicados à continuidade dos estudos de Genética de populações no Brasil (Formiga, 2018).

Mais tarde, Crodowaldo Pavan, orientado de Dreyfus, juntou-se a Dobzhansky e juntos desenvolveram um projeto de estudos sobre ecologia e genética das drosófilas brasileiras, iniciativa financiada por Harry M. Miller Jr., da Fundação Rockefeller.

Os resultados de anos de pesquisas acabaram levando à aplicações em populações humanas também, resultando na migração de vários biólogos para a Genética humana. No departamento de Biologia Geral da FFCL/USP, dedicados ao estudo de Genética humana, estavam Pedro Saldanha, estudando grupos sanguíneos, e Oswaldo Frota-Pessoa, que iniciou uma pesquisa sobre doenças Genéticas e aconselhamento genético no recém-criado Laboratório de Genética Humana (Frota-Pessoa, 2003).

O primeiro brasileiro a publicar um estudo de Genética humana em uma revista dedicada à Genética foi Newton Freire-Maia, conferindo-lhe o título de pai da Genética humana brasileira. Além disso, seus trabalhos e prestação de serviços em Aconselhamento Genético facilitaram a passagem da Genética Humana para a Genética Médica e o tornaram um grande geneticista médico, apesar de não ter se graduado em medicina (Frota-Pessoa, 2003).

Nas décadas de 1950 e 1960, Saldanha publicou artigos sobre casamentos consanguíneos, polimorfismos humanos e taxas de mutação em seres humanos, e tornou-se o primeiro professor de Genética em uma faculdade de medicina brasileira, da Universidade de São Paulo, em 1959 (Frota-Pessoa, 2003).

Francisco Mauro Salzano também teve papel importante na Genética humana do Brasil. Aprofundou a Genética de Transmissão, que estuda em que proporções os genes passam de pais a filhos e se distribuem na prole, campo que fornece a base para o aconselhamento genético (Frota-Pessoa, 2003).

2.5 NOVA BIOLOGIA E ACONSELHAMENTO GENÉTICO

Diante do cenário do desenvolvimento da Genética e de seu papel na explicação de inúmeros fatos da vida, surge uma nova área: a Nova Biologia.

A Nova Biologia diz respeito aos avanços da genética molecular, ou engenharia genética, com o desenvolvimento de novas técnicas que permitem isolar fragmentos de DNA e purificar, examinar e manipular genes. Técnicas de clonagem, de DNA recombinante, mapeamento genético, o Projeto Genoma Humano e novas formas de diagnosticar doenças genéticas são alguns dos avanços que vêm sendo atingidos desde 1972. (Garcia, 1996).

Devido ao papel da Genética na explicação de inúmeros fatos da vida e com o desenvolvimento de novas técnicas de diagnóstico de erros e doenças genéticas, emerge o serviço de Aconselhamento Genético. A expressão Aconselhamento Genético teve surgimento nos Estados Unidos na década de 1940, cunhada pelo geneticista Sheldon Clark Reed, como forma de prover aos pacientes informações sobre reprodução e doenças genéticas e os riscos relacionados a elas.

Segundo a *American Society of Human Genetics*, o aconselhamento genético é definido como processo de comunicação sobre problemas associados com a ocorrência, ou risco de ocorrência, de uma doença Genética em uma família, para ajudar o indivíduo a compreender os fatos médicos, incluindo o diagnóstico, provável curso da doença e as condutas disponíveis. O serviço busca fornecer aos indivíduos o entendimento de como a hereditariedade contribui para a doença e o risco de repetição; compreender as possibilidades para lidar com o risco de recorrência; tomar a decisão apropriada de acordo com o risco, objetivos familiares e visões éticas e religiosas; ajustar-se, da melhor maneira possível, à situação imposta pela ocorrência do distúrbio na família (Netto, 2019).

Atualmente, o aconselhamento genético consiste em uma prática de saúde pública, que promove bem-estar, garantia de direitos individuais e difusão de informação, seja ela sobre reprodução humana ou sobre riscos e probabilidades do surgimento de doenças genéticas na família ou no próprio indivíduo.

No Brasil, a procura pelos serviços do aconselhamento genético tem se popularizado e vem crescendo a cada ano, como indicam os relatórios anuais disponibilizados pelo Genoma USP. Segundo essa instituição, o aconselhamento

genético é indicado para pessoas que tenham nascido com alguma doença, que tenham suspeita ou que tenham parente já diagnosticado com uma doença genética. É indicado também para crianças que apresentem algum atraso de desenvolvimento físico, neurológico ou motor e para casais com dificuldades para engravidar ou que sofreram mais de dois abortos espontâneos (Genoma, s.d)

As etapas de uma consulta de aconselhamento genético consistem em: levantamento de histórico familiar e pessoal, avaliação dos exames clínicos e genéticos já realizados e indicação de outros exames, caso necessário; análise dos dados, visando diagnosticar, confirmar ou excluir uma condição genética conhecida; fornecimento de informações acerca da natureza da doença genética identificada e de suas implicações para a saúde física ou mental do indivíduo; esclarecimento sobre o mecanismo de herança e cálculo de risco de ocorrência ou recorrência em irmãos ou filhos de um indivíduo; identificação de familiares assintomáticos – que não apresentam sintomas, mas são portadores de alteração genética – e dos riscos desses familiares desenvolverem a doença ou transmiti-la para seus filhos; orientação pré-natal para casais ou gestantes com risco de ocorrência ou recorrência de doenças genéticas em seus descendentes (Netto, 2019).

A Genética e a Genética humana, temas imprescindíveis para a compreensão da evolução humana e bases da Nova Biologia e do Aconselhamento Genético, consistem em uma ciência básica e específica ao mesmo tempo. Ensinadas nas escolas durante o ensino médio, constituem um assunto de difícil compreensão tanto para os alunos (Wood-Robinson, 2000), como para a população geral, porém indispensável para formação de jovens conscientes e capazes de tomar decisões.

3. A GENÉTICA NO ENSINO DE BIOLOGIA

3.1. ENSINO DE GENÉTICA E GENÉTICA HUMANA

Durante os três anos do ensino médio, conteúdos referentes a Genética e Genética humana são trabalhados nas aulas da disciplina de Biologia. Nessa etapa da formação básica, a aquisição de conhecimentos relacionados aos conceitos de Genética como DNA, genoma, hereditariedade, clonagem, terapia gênica, entre outros, precisam ser abordados de forma mais aprofundada, de modo que os educandos adquiram conhecimentos que estão carregados de questões éticas, sociais, políticas e humanas (Krasilchik, 2004).

Segundo o PCNEM, os conteúdos de Genética devem ser abordados com o objetivo de discutir seus pressupostos, limites e contexto em que surgiram, possibilitando a compreensão histórica e conseqüente entendimento da transmissão das características, abordando, assim, a Genética humana (Brasil, 2000).

Um dos desafios do ensino de Biologia, neste caso especificamente da Genética, é a formação de indivíduo com conhecimento sólido de Biologia e com raciocínio crítico, ao mesmo tempo (Brasil, 2006). A população brasileira é exposta diariamente a inúmeras propagandas, campanhas e notícias e, mesmo diante a tanta informação e posicionamentos, não possui confiança para opinar sobre assuntos polêmicos e cada vez mais frequentes, que podem interferir em suas condições de vida, como clonagem, reprodução assistida, aconselhamento genético, uso de transgênicos, entre outros.

Nesse sentido, entende-se que a população, educandos inclusos, encontra-se na posição de sujeito oprimido, que não vê de forma crítica sua própria realidade, apenas a aceita. O silêncio acerca dos assuntos cada vez mais frequentes em relação à Genética e Genética humana torna-se uma temática, a partir da qual pode-se obter temas geradores que orientem as aulas de Genética.

Segundo o PCN +, um dos temas estruturadores do ensino de Biologia é “Transmissão da vida, ética e manipulação gênica”, no qual são tratados os fundamentos da hereditariedade, com maior destaque para a transmissão dos caracteres humanos (Brasil, 2002).

De acordo com o documento, a compreensão desses conceitos e fundamentos é fundamental para que os educandos tenham a capacidade de avaliar o significado das aplicações dos conhecimentos genéticos, seja no diagnóstico e tratamento de doenças, comprovação de paternidade, identificação de pessoas ou mesmo em investigações criminais. Além disso, os conhecimentos dessa área permitem que os educandos participem ativamente em discussões sobre implicações éticas e morais, políticas e econômicas sobre testes e manipulações Genéticas, sendo capazes de analisar os riscos e benefícios para a população (Brasil, 2002).

O tema estruturador é dividido em unidades temáticas, cada qual com seu objetivo específico, listados na Tabela 1. Ao analisá-las, é possível perceber que se encaixam em todos os acontecimentos citados no Capítulo 1.

Quadro 1. Unidades temáticas do tema estruturador “Transmissão da vida, ética e manipulação gênica” e descrição das competências

Unidade Temática	Objetivos
1. Os fundamentos da hereditariedade	<ul style="list-style-type: none"> • Listar várias características humanas ou de animais e plantas, distinguindo as hereditárias das congênitas e adquiridas. • Identificar, a partir de resultados de cruzamentos, os princípios básicos que regem a transmissão de características hereditárias e aplicá-los para interpretar o surgimento de determinadas características. • Utilizar noções básicas de probabilidade para prever resultados de cruzamentos e para resolver problemas envolvendo características diversas. • Analisar textos históricos para identificar concepções pré-mendelianas sobre a hereditariedade. • Identificar e utilizar os códigos usados para representar as características Genéticas em estudo. • Construir heredogramas a partir de dados levantados pelos alunos (junto a familiares ou conhecidos) sobre a transmissão de certas características hereditárias.
2. Genética humana e saúde	<ul style="list-style-type: none"> • Levantar dados sobre as características que historicamente são consideradas para definir os

	<p>agrupamentos raciais humanos em caucasóides, negróides e orientais, identificando-as como correspondentes a apenas uma fração mínima do genoma humano.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Analisar aspectos genéticos do funcionamento do corpo humano como alguns distúrbios metabólicos (albinismo, fenilcetonúria), ou os relacionados aos antígenos e anticorpos, como os grupos sangüíneos e suas incompatibilidades, transplantes e doenças auto-imunes. • Distinguir uma célula cancerosa de uma normal, apontando suas anomalias Genéticas, além de alterações morfológicas e metabólicas. • Identificar fatores ambientais – vírus, radiações e substâncias químicas – que aumentam o risco de desenvolver câncer e medidas que podem reduzir esses riscos, como limitar a exposição à luz solar. • Avaliar a importância do aconselhamento genético, analisando suas finalidades, o acesso que a população tem a esses serviços e seus custos.
3. Aplicações da engenharia Genética	<ul style="list-style-type: none"> • Identificar as técnicas moleculares utilizadas para a detecção precoce de doenças Genéticas, seus custos, levantando informações junto a profissionais e serviços de saúde. • Identificar o papel da terapia gênica no tratamento de doenças genéticas e seu uso na medicina brasileira, pesquisando textos ou entrevistando profissionais da área. • Reconhecer a importância dos testes de DNA nos casos de determinação da paternidade, investigação criminal e identificação de indivíduos. • Compreender a natureza dos projetos genomas, especialmente os existentes no país, listando seus objetivos como identificação dos genes, da sequência do DNA e armazenamento dessas informações em bancos de dados.
4. Os benefícios e os perigos da manipulação Genética: um debate ético	<ul style="list-style-type: none"> • Reconhecer a importância dos procedimentos éticos no uso da informação Genética para promover a saúde do ser humano sem ferir a sua privacidade e sua dignidade. • Posicionar-se perante o uso das terapias Genéticas, distinguindo aquelas que são eticamente recomendadas daquelas que devem ser proibidas.

	<ul style="list-style-type: none"> • Avaliar a importância do aspecto econômico envolvido na utilização da manipulação Genética em saúde: o problema das patentes biológicas e a exploração comercial das descobertas das tecnologias de DNA. • Posicionar-se perante a polêmica sobre o direito de propriedade das descobertas relativas ao genoma humano, analisando argumentos de diferentes profissionais.
--	--

Fonte: adaptado de Ministério da Educação (2006)

Esse tema estruturador específico relaciona o estudo à aplicabilidade de novas tecnologias envolvendo o DNA, como Biotecnologia e Biologia molecular, que compõem a Nova Biologia. Somado à velocidade de divulgação na mídia, torna importante a inclusão de conteúdos de Genética humana no ensino médio.

Tais campos ganham cada vez mais destaque por estarem intimamente ligados à vida das pessoas e por possuírem certo apelo social, tornando-se assim importantes de serem abordados na educação básica. Apesar de estar ganhando notoriedade, a Nova Biologia não necessariamente está sendo representada nos livros didáticos (Loreto; Sepel, 2003).

No entanto, o ensino de Genética na formação básica tende a ocorrer de maneira fragmentada e bancária, sem relação com a história e tampouco com a problematização e dialogicidade propostas por Freire. Assim, os educandos, apesar de demonstrarem interesse por temas relacionados com Genética humana, apresentam pouca compreensão sobre os mesmos (Leite, 2004).

A Genética constitui uma área do ensino que está interligada a muitas outras. É uma área transdisciplinar, que exige noções de matemática, lógica, química, interpretação e muitas outras competências para que seja compreendida totalmente. Exatamente por essa exigência de conhecimento de outras áreas, mas não somente por isso, a Genética é vista pelos alunos do ensino médio como um assunto complexo.

A formação estritamente teórica, tanto dos educandos quanto dos educadores, resulta na dificuldade em estabelecer relações entre o conhecimento adquirido na escola e o cotidiano, fazendo com que os educandos se distanciam das informações sobre Genética, sejam elas veiculadas pela mídia ou mesmo por

interesse próprio, distanciando a realidade deles dos acontecimentos (Krasilchik, 2004).

3.2 DESAFIOS E DIFICULDADES DO ENSINO DE GENÉTICA E GENÉTICA HUMANA

Apesar da evidente necessidade de promover o pensamento crítico dos educandos e dos direcionamentos dados a isso, inclusive no PCNEM, a realidade do processo de ensino é outra.

A Genética é vista pelos educandos como um assunto muito abstrato e de difícil compreensão, por envolver conhecimentos de outras áreas e por, na maioria das vezes, ser ensinada de forma estritamente técnica e conceitual, sem relação com a história ou com seu cotidiano. Segundo Moura (2013, p.168),

“Atualmente no Brasil, apesar das inovações científicas e tecnológicas fazerem parte dos currículos escolares das escolas públicas, grande parte dos alunos não contextualiza o ensino de Biologia, com destaque aos conteúdos de Genética, que se tem na escola com a sua realidade. Percebe-se então que as dificuldades estão relacionadas às mais diversas formas de compreensão como os cálculos expressivos, terminologias, conceitos, materiais didáticos e muitos outros fatores. Diante disso, perceberemos a dificuldade que os alunos apresentam na compreensão dos assuntos abordados em sala de aula.”

A falta de compreensão dos conteúdos de Genética pode ser atribuída a muitos fatores, dentre eles o distanciamento da história da ciência, superficialidade dos conteúdos, erros conceituais, falta de transdisciplinaridade, priorização do livro didático e ausência de discussão acerca da Bioética.

A introdução da História da Ciência no estudo da Genética pode ser eficaz para o processo de ensino-aprendizagem, uma vez que faz com que os educandos compreendam melhor a ciência contemporânea ao olharem a ciência do passado. A humanização da ciência, e não o entendimento somente técnico e conceitual,

possibilita o desenvolvimento do pensamento crítico dos estudantes (Kovaleski, 2013).

“Humanizar as ciências e aproximá-las mais dos interesses pessoais, éticos, culturais e políticos; tornar as aulas mais estimulantes e reflexivas, incrementando a capacidade do pensamento crítico; contribuir para uma compreensão maior dos conteúdos científicos; melhorar a formação de professores contribuindo para o desenvolvimento de uma epistemologia da ciência mais rica e mais autêntica, isto é, a um melhor conhecimento da estrutura de ciência e seu lugar no marco intelectual das coisas. (Matthews 1995, p. 164.)

A falta da abordagem da História da Ciência afeta a compreensão dos alunos, também, por conta da superficialidade com que é tratada nos livros didáticos. As teorias da Genética costumam ser dadas prontas, sem uma contextualização histórica de quem e como se chegou até elas, se houveram outras e se foram aceitas logo que foram propostas.

“Os livros científicos didáticos enfatizam os resultados aos quais a ciência chegou, às teorias e conceitos que aceitamos, as técnicas de análise que utilizamos - mas não costumam apresentar alguns outros aspectos da ciência. De que modo as teorias e os conceitos se desenvolvem? Como os cientistas trabalham? Quais as ideias que não aceitamos hoje em dia e que eram aceitas no passado? Quais as relações entre ciência, filosofia e religião? Qual a relação entre o desenvolvimento do pensamento científico e outros desenvolvimentos históricos que ocorreram na mesma época?” (Martins, 2006, p. 12.)

Um dos principais problemas encontrados no ensino de Genética é a priorização do livro didático, o qual possui ênfase em conceitos, definições e terminologia, com pouca referência histórica do conhecimento e falta de envolvimento com o cotidiano dos alunos (Leite, 2004).

Diversos trabalhos apontam o livro didático como um dos maiores culpados pela falta de compreensão sobre temas da Genética. Foco em terminologias,

conceitos errôneos, ordem com que os temas são abordados e linguagem muito técnica são algumas das características encontradas nos livros didáticos que não permitem que os alunos possuam uma aprendizagem efetiva.

Essa percepção não é atual: trabalhos publicados na década de 80 já mostravam essa falha no processo de ensino. Tolman (1982) sugeriu que uma das dificuldades dos alunos era devido à sequência na qual os assuntos eram apresentados nos livros, fazendo com que os alunos não conseguissem relacioná-los. Ao analisar diversos livros, o autor constatou que meiose e Genética eram abordadas em capítulos diferentes, com meiose precedendo as leis de Mendel. Desse modo, havia uma dificuldade dos alunos em relacionar conceitos de homozigose, heterozigose, recessividade e dominância com os acontecimentos da meiose.

Da mesma forma que Tolman, Longden (1982) sugeriu que a falta de compreensão poderia ser devido ao longo período entre a discussão dos dois temas. Para Longden, os alunos não conseguiam relacionar os eventos da separação cromossômica com a replicação do DNA, nem relacionar alelos homozigotos ou heterozigotos com características recessivas e dominantes.

O trabalho de Santos (2015), mais atual, também concorda com a percepção de que a ordem e a falta de relação entre os temas da Biologia dificultam a compreensão da Genética. Além disso, enfatiza que essa percepção pode estar relacionada, também, com a falta de abordagem da História da Ciência, uma vez que ela explica a relação entre diversos temas da biologia e, principalmente, da Genética. Segundo Santos (2015),

“essa dificuldade pode estar relacionada à falta de eixos integradores entre diferentes disciplinas das Ciências Biológicas, com a organização dos conteúdos nos materiais didáticos agregada ao resgate do processo de produção da ciência, ou, mesmo, com a integração destes conteúdos na prática docente, como, por exemplo, com o uso de História da Ciência” (Santos, 2015)

Outro fator que pode dificultar a aprendizagem dos alunos é a presença de erros conceituais nos livros didáticos. Segundo Boas (2006), em um trabalho feito a partir da análise de livros didáticos, dos cinco livros analisados, todos possuíam erros conceituais nos capítulos relacionados à Genética (Boas, 2006).

No mesmo sentido de erros conceituais, a presença de generalizações nos livros didáticos também atrapalha o processo de ensino. Nas generalizações, o conceito não está totalmente errado, mas pode estar abrangendo mais informação do que deveria, confundindo o entendimento dos alunos (Franzolin, 2014).

O distanciamento dos conteúdos da realidade e cotidiano dos educandos também prejudica a compreensão. Os exemplos utilizados nos livros didáticos para ensinar os padrões de herança, como a herança mendeliana, podem tanto auxiliar quanto prejudicar o entendimento. Ao utilizar como exemplos as diferenças das sementes de ervilha e cor dos olhos de drosófilas aproximamos os educandos da história da ciência, mas os distanciamos da sua realidade. Ao utilizarmos a cor dos olhos e tamanho do lóbulo da orelha como exemplos, aproximamos o conteúdo da realidade dos alunos, mas podemos cometer erros que podem comprometer a compreensão dos alunos (Baiotto, 2016).

Isso se deve ao fato de os exemplos humanos apresentarem fundamentação incorreta, geralmente simplificando o padrão de herança e utilizando heredogramas simples. Muitos dos exemplos humanos utilizados não possuem um padrão de herança mendeliana, monogênica, e sim padrões poligênicos e mais complexos.

A maioria dos alunos já possui dificuldade em compreender conceitos como monogênico, poligênico e autossômico. Somado isso ao uso errôneo dos exemplos, a compreensão fica comprometida e, conseqüentemente, o desenvolvimento do pensamento crítico.

Ainda, a falta de discussão acerca de Bioética, relacionada com os temas da Genética e da nova Biologia, pode estar causando uma defasagem no conhecimento dos alunos. Os livros didáticos carecem de debates entre a Bioética e a sociedade e destacam que um dos maiores desafios do ensino de Genética é romper o tabu ético existente em relação às conseqüências morais e legais dos avanços dos testes genéticos, por exemplo (Araújo, 2017).

A Bioética é uma área recente e, assim como a Genética, desenvolveu-se em contexto caracterizado pela junção de conhecimentos de várias disciplinas. As semelhanças entre as duas áreas permitem enxergar a transdisciplinaridade que permeia o conteúdo de conhecimento científico tanto em Genética como em Bioética (Azevêdo, 1998).

Ensinar e discutir Bioética não é uma tarefa fácil e não é possível fazê-lo de forma compartimentada e bancária. Para que o objetivo de expandir horizontes para a compreensão de responsabilidades morais seja cumprido, é preciso que os educadores dominem o conceito de cada disciplina envolvida (interdisciplinaridade²) na Bioética e, mais adequado ainda, percebam o ponto em comum entre as disciplinas (transdisciplinaridade³) (Azevêdo, 1998).

Nesse sentido, é importante também introduzir o ensino de História da Ciência, permitindo que os educandos compreendam os fenômenos presentes em nosso cotidiano com base em experiências passadas, tornando-se capazes de adquirir o conhecimento necessário para se posicionarem em situações que vão além da formação técnica e exigem reflexões mais profundas (Kovaleski, 2013).

3.3. ENSINO DE BIOLOGIA E EDUCAÇÃO CTS

No contexto atual do ensino brasileiro, a escola tem como um de seus objetivos formar cidadãos críticos e o ensino de Biologia possui papel importante nessa questão (Krasilchik, 2004). A formação biológica contribui para a formação de cidadãos capazes de compreender e aprofundar-se em conceitos biológicos e, ao relacioná-los com a importância da ciência e da tecnologia, tornarem-se capazes de tomar decisões em âmbito individual e coletivo num contexto ético, de responsabilidade e respeito (Brasil, 2000; Krasilchik, 2004).

No ensino fundamental, a Biologia integra a disciplina de Ciências, acompanhada da Física e da Química. Como disciplina específica, a Biologia passa a ser ofertada aos alunos no ensino médio, sendo que os conteúdos de Genética são abordados nas 2^a e 3^a séries (Krasilchik, 2004).

De acordo com os Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (PCNEM), entre as competências e habilidades a serem desenvolvidas em Ciências da Natureza, Biologia inclusa, estão Representação e Comunicação (desenvolver a capacidade de comunicação), Investigação e Compreensão (desenvolver a

² Interdisciplinaridade é a integração de áreas do conhecimento, das disciplinas, para explicar um objeto de estudo (Severino, 2011).

³ A transdisciplinaridade procura identificar a interação e a integração de todos os elementos, no caso da educação as disciplinas, ou seja, a complementaridade dos olhares disciplinares sobre o que está sendo estudado é intrínseco à compreensão (Messias et al., 2023)

capacidade de questionar processos naturais e tecnológicos, identificando regularidades, apresentando interpretações e prevendo evoluções; desenvolver o raciocínio e a capacidade de aprender) e Contextualização sociocultural (compreender e utilizar a ciência como elemento de interpretação e intervenção, e a tecnologia como conhecimento sistemático de sentido prático) (Brasil, 2000).

Dominar conhecimentos biológicos, através do ensino de Biologia, serve tanto para compreender os debates contemporâneos e deles participar quanto para ser capaz de responder as indagações que vêm sendo feitas pelo ser humano ao longo de toda sua história. É fundamental para compreendermos a origem, a reprodução e evolução da vida e da vida humana em todas as suas formas de organização e interação (Brasil, 2000).

O estudo de elementos da história e da filosofia da Biologia permite que os alunos compreendam a existência de relações entre a produção científica e o contexto social, econômico e político. Além disso, a Biologia, e a Genética, possibilitam que se trabalhe com temas transversais, tidos como distantes da Biologia, como ética, política e sociedade (Brasil, 2000).

O ensino de ciências, e consequentemente de Genética e Genética humana, constitui um campo cujas abordagens são passíveis de mudanças de acordo com o contexto histórico, social e econômico ao qual está inserido. Nesse cenário, juntamente com a importância dada à História e à Filosofia no ensino de Ciências, dá-se preferência para o modelo de educação CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade).

O movimento CTS surgiu em meados do século XX, em países capitalistas centrais, devido ao sentimento de descompasso entre o desenvolvimento científico, tecnológico e econômico e o desenvolvimento do bem-estar social. Com o avanço tecnológico e científico nas décadas de 1960 e 1970, Ciência e Tecnologia (CT) tornaram-se alvo de um olhar mais crítico, uma vez que a sociedade, tendo direito de participar ativamente em decisões que afetem seu destino, provoca uma necessidade de democratização das decisões que envolvam CT (Auler, 1998).

Esse movimento de democratização e participação mais ativa da sociedade provocou reflexões também no campo educacional. O ensino de Ciências pós movimento CT não se limita à construção de conceitos e possui

“situações-problemas” como ponto de partida para a aprendizagem, relativas a contextos reais dos próprios educandos (Cachapuz, 1999).

No que diz respeito ao ensino de ciências, o enfoque CTS visa:

“Promover o interesse dos estudantes em relacionar a ciência com as aplicações tecnológicas e os fenômenos da vida cotidiana e abordar o estudo daqueles fatos e aplicações científicas que tenham uma maior relevância social; abordar as implicações sociais e éticas relacionadas ao uso da tecnologia e adquirir uma compreensão da natureza da ciência e do trabalho científico.”(Auler, 1998. p. 2)

Desse modo, o enfoque CTS busca realizar um ensino de ciências que permita o educando relacionar o que está aprendendo com sua realidade, seu cotidiano, priorizando temas que tenham maior relevância social, permitindo uma maior compreensão.

3.4. EDUCAÇÃO CTS E A PEDAGOGIA DE PAULO FREIRE

As características citadas acima vão de encontro com os princípios e métodos da concepção freireana de educação. O educador Paulo Freire (1921-1997) levantou um debate sobre a existência da relação entre Opressores e Oprimidos, e a necessidade de superação dessa contradição através da libertação.

Para Freire (1987), a violência dos opressores desumaniza opressores e oprimidos, instaurando um pensamento fatalista, de história estagnada, fazendo com que os oprimidos tenham sua capacidade de ser mais suprimida. Contudo, ao reconhecer-se como oprimido, buscam recuperar sua humanidade superando a relação opressor-oprimido (Freire, 1987).

É aí que está a liberdade dos oprimidos, libertar-se a si e aos opressores, emancipar-se e emancipar os opressores. Para atingir essa libertação, Freire defendeu uma concepção emancipadora de educação, que supere a “concepção bancária”.

A educação bancária, muito criticada por Freire, consiste em uma educação na qual o educando é submetido a conteúdos, escolhidos pelos educadores, que pouco ou nada tem a ver com os educandos, muito menos com a realidade na qual estão inseridos, e são depositados sobre eles. Nas palavras de Freire, a educação bancária “é o ato de depositar, de transferir, de transmitir valores e conhecimentos” (Freire, 1987 p.89).

Nessa visão de educação, o “saber”, ou seja, o conhecimento e os conteúdos, são vistos como uma “doação” dos que sabem aos que nada sabem. O educador é colocado como detentor supremo do conhecimento (opressor) e o educando como ignorante que nada sabe (oprimido) (Freire, 1987).

Essa doação tem fundamento em uma das formas de manifestação da opressão: a absolutização da ignorância. O educador, ao absolutizar a ignorância do educando, mantém-se em uma posição fixa e invariável de saber e a rigidez de tal posição nega a educação e a aquisição de conhecimento como processo de busca, mantendo-os como processos bancários (Freire, 1987).

Para tal superação, a pedagogia emancipadora de Freire possui dois princípios que norteiam e permeiam todas as discussões acerca da educação: problematização e dialogicidade. A problematização deve visar colocar o educando em confronto com suas vivências diárias, provocando uma desestabilização de seu conhecimento para que um novo seja construído, a partir da compreensão e posterior modificação de seu contexto de vida (Delizoicov, 1983). Para isso, a realidade do educando é tomada como ponto de partida.

A dialogicidade, por sua vez, não pode ser reduzida à simples ideia do educador dialogar com o educando. Para Freire, o diálogo consiste na permissão da fala do outro, na interlocução, e é por meio dele que os homens são capazes de se libertarem e transformarem o mundo em que vivem (Freire, 1987).

Mas, se dizer a palavra verdadeira, que é trabalho, que é práxis, é transformar o mundo, dizer a palavra não é privilégio de alguns homens, mas direito de todos os homens. Precisamente por isto, ninguém pode dizer a palavra verdadeira sozinho, ou dizê-la para os outros, num ato de prescrição, com o qual rouba a palavra aos demais. O

diálogo é este encontro dos homens, mediatizados pelo mundo, para pronunciá-lo, não se esgotando, portanto, na relação eu-tu. (Freire, 1987. p. 109)

Para que o diálogo se consolide e para que haja a superação da situação opressora, da contradição opressor-oprimido, é necessário enxergar que o educador não é apenas educador e sim “educador-educando” e o educando não é apenas educando e sim “educando-educador”. É com a problematização e a dialogicidade que é possível ver que só haverá libertação quando ambos tornam-se sujeitos do processo educativo, acabando com a concepção bancária de processo educativo sendo um *sobre* o outro (Freire, 1987).

Ainda, para que haja libertação, é necessário que os educandos sejam capazes de perceber sua posição de oprimidos e, através da problematização e dialogicidade estabelecidas com eles, sejam capazes de enfrentá-la, entendê-la e superá-la (Freire, 1987).

Para isso, a educação problematizadora tem como ponto de partida a investigação temática, através da qual os educadores se aproximam da realidade dos educandos, identificando qual é a percepção que estes têm de sua própria realidade. Através dessa investigação chega-se a situações-limite, situações de contradição, que dão origem a temas geradores, a partir dos quais os educandos poderão superar suas situações-limite, após alcançarem uma consciência crítica de sua realidade (Freire, 1987).

A pedagogia freiriana defende uma educação capaz de despertar a consciência crítica dos educandos acerca das situações políticas, econômicas e sociais às quais ele está inserido, constituindo uma educação como prática da liberdade, que vai de encontro aos pressupostos do enfoque CTS (Auler, 2006).

Desse modo, para que haja uma visão crítica da realidade, um pressuposto freireano, torna-se necessária a compreensão crítica das interações CTS, levando em consideração que há um vínculo entre a dinâmica social e o desenvolvimento científico-tecnológico (Auler, 2006).

3.5 ACONSELHAMENTO GENÉTICO E ENSINO DE GENÉTICA: UMA POSSIBILIDADE

Diante dos avanços das tecnologias de análises genômicas e da velocidade com que as descobertas são expostas na mídia, aumenta o número de doenças que são atribuíveis a causas genéticas. Somado a isso, a redução nos custos de testes genéticos para doenças e das técnicas de sequenciamento de genes aproxima as possibilidades da ciência do dia a dia das pessoas (Netto, 2019).

Condições que antes não eram muito bem compreendidas pela população ou não eram diagnosticadas devido ao alto custo dos testes genéticos, agora tornam-se mais esclarecidas e, com isso, cresce a procura pelos serviços de Aconselhamento Genético.

No entanto, a popularização de testes genéticos, muitos dos quais estão acessíveis à população sem a necessidade de requerimento médico e cujos resultados chegam diretamente em suas mãos, pode trazer prejuízos emocionais e afetar decisões sobre o planejamento da vida, uma vez que a população não está apta a interpretar os resultados, muito menos possui pensamento crítico sobre as consequências da procura.

Visto que o aconselhamento genético é um “processo de comunicação que aborda os problemas humanos relacionados com a ocorrência e recorrência de doenças Genéticas em uma família” (Netto, 2019), ele se torna, também, um processo de desenvolvimento da consciência e pensamento críticos, uma vez que os pacientes serão colocados de frente com sua realidade, expostos a seus contextos e dificuldades e incentivados a tomarem suas próprias decisões.

Abordar aconselhamento genético na educação básica é uma forma de promover a consciência crítica sobre esse assunto antes mesmo da necessidade dos serviços. Dá-se espaço para a discussão da importância e da consequência da realização de testes genéticos, dos benefícios e malefícios que eles podem trazer.

Além disso, permite que haja uma discussão sobre Bioética. Diante da quantidade de informação veiculada na mídia e da fácil disponibilidade de testes, é preciso conscientizar a população sobre os riscos que a popularização e fácil acesso dos testes pode trazer e enfatizar que eles, assim como o aconselhamento genético,

promovem a saúde e a segurança de poder fazer escolhas que mudarão o planejamento da vida de quem as faz.

Ainda, é uma forma de aproximar os educandos do conteúdo que estão aprendendo, pois é uma situação que eles veem cada vez mais na mídia, tornando-a possível, e que podem vivenciar no futuro. Krasilchik (2004) propõe exercícios que simulam uma consulta de aconselhamento genético e permitem que temas que envolvem os cromossomos, como suas estruturas e funções, teste do cariótipo, doenças cromossômicas e outros sejam ensinados de forma mais dinâmica e que estimule o pensamento crítico dos alunos (Anexo 1).

A proposta Krasilchik (2004) mostra que é possível apresentar o conteúdo que os alunos julgam difíceis de uma forma menos técnica e teórica. É possível abordar conceitos, terminologias e processos de divisão celular, que geralmente são colocados de forma muito técnica para os alunos, de uma maneira mais próxima do cotidiano deles e de forma que estimule o desenvolvimento do pensamento crítico nos alunos.

Desse modo, entende-se que abordar Aconselhamento Genético na educação básica contribui para diversas questões que promovem o desenvolvimento do olhar crítico dos educandos, como a quebra do estigma sobre as doenças e condições Genéticas, discussões sobre Bioética, prevenção da utilização inconsequente dos testes genéticos e desenvolvimento do pensamento crítico dos educandos.

Tendo em vista todas as dificuldades e desafios do ensino de Genética citados acima, faz-se necessário observar se o ensino e as ferramentas que o auxiliam, como o livro didático, compreendem e superam alguns aspectos. Para este trabalho, a análise de cinco aspectos nos livros didáticos fazem sentido, sendo eles: abordagem da genética e a relação desta com outras áreas da Biologia e das Ciências da Natureza, abordagem da história da ciência nos conteúdos de Genética, complexidade da linguagem utilizada e explicação dos conceitos, aproximação do conteúdo de Genética com a vida dos alunos e abordagem da Nova Biologia e Aconselhamento Genético.

O resultado da análise dos cinco aspectos são organizados e apresentados em: *5.1.1 Abordagem da genética e relação com outras áreas da Biologia e Ciências*

da Natureza, 5.1.2 Abordagem da história da ciência, 5.1.3 Complexidade da linguagem e explicação dos conceitos, 5.1.4 Aproximação do conteúdo com a vida dos alunos e 5.1.5 Abordagem da Nova Biologia e Aconselhamento Genético.

O primeiro aspecto, apresentado em 5.1.1, é destinado a observar como o ensino de Genética está sendo feito nos livros didáticos, se há capítulos dedicados à área, se somente alguns conceitos são citados e se são feitas relações com outras áreas da Biologia e das Ciências da Natureza.

O segundo aspecto, apresentado em 5.1.2, merece atenção devido à sua relação com a dificuldade de compreensão da Genética, uma vez que a contextualização histórica do percurso da Genética até o conhecimento de hoje permite uma melhor compreensão dos conteúdos, mostrando que estes não são dados prontos.

O terceiro aspecto que deve ser observado, apresentado em 5.1.3, diz respeito à complexidade da linguagem utilizada nos livros para explicar os conteúdos. Como a Genética é uma área repleta de conceitos e terminologias, a linguagem utilizada nos livros didáticos tende a ser muito conceitual e sem muita explicação, sendo este um aspecto importante para a análise dos conteúdos.

O quarto aspecto, apresentado em 5.1.4 e muito importante para o processo de ensino aprendizagem, é a aproximação dos conteúdos com a realidade e cotidiano dos educandos. Observar quais exemplos são utilizados para explicar os temas da Genética, se estão corretos e se, de alguma forma, aproximam-se do cotidiano dos educandos é importante para avaliar se o ensino está sendo efetivo.

O último aspecto que este trabalho julga importante de ser avaliado é a abordagem de temas da Nova Biologia e do Aconselhamento Genético, apresentado em 5.1.5, uma vez que são áreas e serviços atuais e cada vez mais presentes na vida dos educandos, por serem amplamente divulgados na mídia.

4. METODOLOGIA

Para este trabalho, foi realizada uma pesquisa qualitativa juntamente com uma análise documental de livros didáticos aprovados pelo Programa Nacional do Livro e do Material Didático (PNLD).

A pesquisa qualitativa baseia-se na coleta de informações visando descrever o que foi observado, sem uma proposta rigidamente estruturada a ser seguida (Godoy, 1995). Segundo Bardin (1977), a abordagem qualitativa permite que o procedimento de análise seja mais intuitivo e adaptável ao objeto de estudo (Bardin, 1977).

A análise documental, por sua vez, pode ser constituída como uma técnica de abordagem de dados qualitativos, completando informações obtidas por outras técnicas ou buscando novos aspectos de determinado tema (Lüdke, 1986).

A seleção de livros didáticos do Ensino Médio para serem analisados foi feita com base nas obras aprovadas pelo Programa Nacional do Livro e do Material Didático (PNLD) de 2021.

Os livros aprovados pelo PNLD de 2021 foram separados em áreas do conhecimento específicas. Desse modo, o conteúdo de Biologia está contido em livros de Ciências da Natureza e suas Tecnologias (CNT), que englobam também a Física e a Química. As CNT têm como objetivo principal a formação de cidadãos conscientes de suas ações na sociedade, capazes de agir sobre ela e transformá-la a partir do conhecimento científico (Brasil, 2021).

A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) para o Ensino Médio propõe a valorização da integração entre as disciplinas que compõem as CNT, uma vez que os conteúdos científicos não são independentes uns dos outros. Desse modo, obras específicas de Ciências da Natureza e suas Tecnologias buscam a interdisciplinaridade, contextualização e integração entre os conteúdos (Brasil, 2021).

Foram analisadas quatro coleções aprovadas pelo PNLD 2021, sendo elas: Ciências da Natureza – Lopes & Rosso; Diálogo – Ciências da Natureza e suas Tecnologias; Ciências da Natureza - Multiversos e Ser Protagonista: Ciências da

Natureza e suas Tecnologias. Todas as quatro coleções possuem seis volumes cada, sendo que a ordem com que são utilizados pode ser definida pelo professor.

A coleção “Ciências da Natureza - Lopes & Rosso” é composta pelos volumes “Evolução e Universo”, “Energia e Consumo Sustentável”, “Água, agricultura e uso da terra”, “Poluição e Movimento”, “Corpo humano e vida Saudável” e “Mundo tecnológico e Ciências Aplicadas”.

A coleção “Multiversos Ciências da Natureza”, da editora FTD Educação, possui os volumes “Matéria, Energia e Vida”, “Movimentos e Equilíbrios na Natureza”, “Eletricidade na Sociedade e na Vida”, “Origens”, “Ciência, Sociedade e Ambiente”, “Ciência, Tecnologia e Cidadania”.

A coleção “Diálogo - Ciências da Natureza e suas Tecnologias” da editora Moderna é composta pelos volumes “O universo da ciência e a ciência do Universo”, “Vida na Terra: como é possível?”, “Terra: um sistema dinâmico de matéria e energia”, “Energia e sociedade: uma reflexão necessária”, “Ser humano: origem e funcionamento”, “Ser humano e meio ambiente: relações e consequências”.

A coleção Ser Protagonista contém os volumes “Ambiente e Ser Humano”, “Composição e Estrutura dos Corpos”, “Energia e Transformações”, “Evolução, Tempo e Espaço”, “Matéria e Transformações” e “Vida, Saúde e Genética”.

Com as coleções definidas, foi realizada uma pré-análise para ver quais volumes possuem capítulos destinados à Genética ou que poderiam conter conceitos da mesma. Os volumes foram catalogados na Tabela 2 e analisados com detalhes.

Tabela 2. Livros aprovados pelo PNLD 2021 utilizados para análise

Identificação	Coleção	Volume e identificação	Capítulo	Editora
Coleção A	Lopes & Rosso	Evolução e Universo (livro A)	Origem e Evolução da Vida na Terra	Moderna
		Mundo tecnológico e Ciências Aplicadas (livro B)	Dos ácidos nucleicos às proteínas;	Moderna

			Biotecnologia; Hereditariedade	
Coleção B	Multiversos - Ciências da Natureza e suas Tecnologias	Origens (livro C)	Origem da vida na Terra; Teoria sintética da evolução	FDT
		Ciência, Tecnologia e Cidadania (livro D)	Núcleo e divisões celulares; Genética molecular; Biotecnologia	
Coleção C	Ser Protagonista	Matéria e transformações (livro E)	Metabolismo celular	SM
		Vida, saúde e Genética (Livro F)	Hereditariedade; Biotecnologia	
Coleção D	Diálogo - Ciências da Natureza e suas Tecnologias	Vida na Terra: como é possível? (Livro G)	Célula	Moderna
		Energia e sociedade: uma reflexão necessária (Livro H)	Genética I Genética II	

A análise dos livros, com finalidade de observar como os conteúdos de Genética são abordados, foi feita com base em critérios definidos em consonância com o que foi discutido em 3.2 e 3.5. Os critérios definidos são: 1) *Abordagem da genética e relação com outras áreas da Biologia e Ciências da Natureza* - de modo a como a Genética é apresentada nos livros didáticos, se há capítulos exclusivo para ela e se são feitas relações com outras áreas das Ciências da Natureza; 2) *Abordagem da história da ciência* - identificação de resgates históricos sobre os achados da Genética; 3) *Complexidade da linguagem e explicação dos conceitos* -

de modo a ver se a linguagem utilizada nos capítulos é muito conceitual e técnica e se há explicação clara dos conceitos expostos; 4) *Aproximação dos conteúdos com a vida dos alunos* - identificação de quais exemplos são utilizados para explicar a teoria, se estes se aproximam da realidade dos alunos e se estão corretos; 5) *Abordagem da Nova Biologia e Aconselhamento Genético* - identificação da abordagem de temas da Nova Biologia e de discussões sobre ética.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 ANÁLISE DOS CONTEÚDOS DE GENÉTICA EM LIVROS DIDÁTICOS DO ENSINO MÉDIO

O livro didático constitui um instrumento de ensino-aprendizagem capaz de nortear mudanças e enriquecimentos na prática pedagógica, muito utilizado nas escolas brasileiras e que serve como suporte para o cumprimento do currículo na maioria das escolas do Brasil (Santos, 2011; Xavier, 2006).

Entende-se que a importância atribuída ao livro didático na sociedade faz com que ele se torne uma espécie de manual, que determina os conteúdos a serem abordados e a forma com que são abordados (Lajolo, 1996).

No entanto, o livro didático não deve ser visto como um instrumento com informações prontas que devem ser reproduzidas aos alunos e que estão alheias ao à realidade destes (Santos, 2011) e, ainda, deve ter um papel para reduzir o abismo entre a ciência e a cidadania (Loreto; Sepel, 2003)

No Brasil, o Programa Nacional do Livro e do Material Didático (PNLD) visa mudar essa realidade, ao avaliar, aprovar e distribuir livros didáticos de forma gratuita, às escolas públicas de educação básica das redes federal, estaduais, municipais e distrital e também às instituições de educação infantil comunitárias, confessionais ou filantrópicas sem fins lucrativos e conveniadas com o Poder Público

O ensino médio público, portanto, é contemplado com os livros aprovados pelo PNLD. Em 2023, ano em que este trabalho foi escrito, os livros didáticos aprovados são divididos por área do conhecimento, para atender o novo ensino médio.

Os livros didáticos por área do conhecimento (Linguagens e suas tecnologias, Matemática e suas tecnologias, Ciências Humanas e Sociais Aplicadas e Ciências da Natureza e suas tecnologias) foram elaborados com base nas diretrizes do Novo Ensino Médio, que busca promover uma trajetória escolar significativa para os educandos e, ainda, que promova o engajamento em ações transformadoras, o

desenvolvimento de habilidades, conhecimentos, valores e atitudes, tornando-os capazes de lidar com os desafios da sociedade contemporânea (Brasil, 2021).

Devido à importância dada aos livros didáticos e aos apontamentos de que ele é um dos motivos para a falta de compreensão da Genética, faz sentido analisar como esta está sendo abordada nos livros que são distribuídos para os alunos brasileiros e se eles contribuem para a formação de cidadãos críticos.

5.1.1. Abordagem da genética e relação com outras áreas da Biologia e Ciências da Natureza

Das quatro coleções analisadas, todas apresentaram pelo menos um volume que contém capítulos destinados à área da Genética. Os volumes diferem na forma com que o tema é abordado, se é falado especificamente de Genética ou se conceitos dessa área são citados de forma solta em algum capítulo.

O livro A faz pequenas menções indiretas sobre a Genética no capítulo “Origem da Vida e Evolução na Terra”, ao citar a molécula de DNA e a existência de um material genético, mas não explica esses conceitos e também não faz relação clara desta área com a evolução.

O livro B possui três capítulos que envolvem a área da Genética, sendo eles “Dos ácidos nucleicos às proteínas”, “Biotecnologia” e “Hereditariedade e Biologia Forense” que de fato explicam conceitos da área. No primeiro capítulo são abordados ácidos nucleicos, estrutura da molécula de DNA, replicação e transcrição do DNA, código genético, síntese de proteínas e mutações genéticas. No segundo capítulo, são apresentadas técnicas de Biologia molecular que derivam dos estudos da Genética, como clonagem, técnica do DNA recombinante, CRISPR, organismos transgênicos e terapia gênica. O terceiro capítulo, por sua vez, fala sobre a transmissão hereditária das características, abordando as Leis de Mendel, processos de divisão celular, sistema sanguíneo e aplicações forenses deste último.

No livro C, elementos de Genética como DNA, RNA, replicação e material genético são citados no capítulo “Origem da Vida” mas não são explicitamente atribuídos à área, enquanto no capítulo sobre teoria sintética da evolução é feita

uma introdução à Genética, citando a estrutura dos cromossomos, mutações e fluxo gênico.

No livro D, há quatro capítulos destinados a diferentes abordagens da Genética. O capítulo “Núcleo e divisões celulares” mostra a estrutura do material genético e os processos de divisão celular. O capítulo “Genética molecular” apresenta a composição e estrutura do DNA, processo de replicação, estrutura do RNA e síntese proteica. O capítulo “Biotecnologia” apresenta as aplicações da Genética molecular, assim como no livro B, além de mostrar a contribuição da área para a produção de vacinas e soros no capítulo “Vacinas e Soros”

Os livros C e D pertencem à coleção Multiversos e apresentam conteúdos de Genética. No entanto, nem eles nem os outros quatro livros da coleção apresentaram qualquer menção à hereditariedade e às Leis de Mendel, temas fortemente abordados quando se fala de Genética.

No livro E, o capítulo “Metabolismo Celular” aborda alguns conceitos fundamentais para a compreensão da Genética, como a constituição química do DNA, replicação do DNA, síntese de proteínas e código genético. Já o livro F faz uma abordagem completa e rica em detalhes sobre a Genética e suas aplicações.

No capítulo “Célula” do livro G há uma breve explicação sobre ácidos nucleicos e moléculas de DNA, sem aprofundamento e sem deixar claro que esses conceitos são fundamentais para a área da Genética. O livro H, por sua vez, possui dois capítulos dedicados à discussão sobre hereditariedade, porém estes são curtos e explicam somente o básico para compreender os temas.

No que diz respeito à relação entre Genética e outros temas da Biologia e da Ciências da Natureza no geral, foram encontradas algumas diferenças nos livros. Os livros A e C relacionam a Genética com Evolução, ao citarem que é a Genética que explica a transmissão hereditária das características e ao articulá-la com evolução, seleção natural, deriva Genética e especiação.

Já o livro B, de modo geral, articula de forma eficaz a Genética com outros temas, uma vez que tudo que envolve essa área está contido em um único capítulo, sem desagregar o conteúdo. O capítulo articula a Genética, mais especificamente as leis de Mendel, com os processos de divisão celular, indo contra o que foi dito por 3.4. No tópico “Relação entre a primeira lei de Mendel e a meiose”, o livro deixa

explícita a relação entre o material genético contido nos cromossomos e a divisão que estes sofrem durante a meiose, explicando como a informação Genética é transmitida pelos processos de divisão celular.

Desse modo verifica-se que Mendel, antes mesmo de saber da existência de alelos, de cromossomos e da meiose, interpretou corretamente o comportamento dos fatores na herança, além de concluir, também corretamente, que esses fatores ocorrem aos pares nas células do corpo e individualmente nos gametas (Lopes; Rosso, 2021, p.109)

O capítulo relaciona também a segunda lei de Mendel com a meiose, explicando como duas ou mais características se comportam durante a divisão celular e deixando claro que a meiose só funciona para a segunda lei de Mendel se os genes estiverem situados em pares de cromossomos homólogos diferentes.

O livro D também relaciona a Genética com os processos de divisão celular. Ele começa um capítulo falando sobre a estrutura do material genético e o que acontece com cada componente durante a divisão celular, trazendo um tópico sobre este último logo em seguida.

Nos livros B, D, F a Genética é relacionada com a Biotecnologia ao abordar temas como Organismos Transgênicos, Tecnologia do DNA recombinante, Clonagem de DNA, Técnica de reação em cadeia da polimerase (PCR), Técnica CRISPR para edição de DNA, Terapia e Vacina gênica, permitindo que o conteúdo não fique preso somente às Leis de Mendel e mostre a aplicabilidade da Genética em outras áreas.

Os livros E e G relacionam a genética somente com o metabolismo celular, apresentando os processos de replicação do DNA e síntese de proteínas.

O livro H faz uma relação com a Química, ao mostrar sobre os efeitos da radiação ionizante nas células. O capítulo mostra as alterações possíveis na divisão celular e as consequências que a radiação pode trazer, incluindo as hereditárias.

A análise permitiu observar que os livros buscam relacionar a genética com outros temas da Biologia e das outras áreas das ciências da natureza, mostrando que eles não são independentes e que todos estão, de certa forma, interligados.

Explicitar essas relações promove uma melhor compreensão do conhecimento científico, afastando a visão de que as informações são rígidas e únicas.

5.1.2. Abordagem da história da ciência nos conteúdos de Genética

Os livros A, C e G citam termos como ácidos nucleicos, moléculas de DNA, material genético e processo de replicação, mas não explicam esses conceitos nem fazem uma relação com a área da Genética. A contextualização histórica com detalhamento dos experimentos feita diz respeito à como se chegou às teorias sobre a formação dos primeiros organismos e a organização do material genético dos mesmo, mas, como os conceitos da Genética não são explicados, não há detalhamento sobre os mesmos.

O livro E, assim como os livros A e C, discute temas como composição química e estrutura do DNA, replicação, código genético. No entanto, há uma contextualização história, apesar de muito pontual e sucinta, sobre como foi descoberta a duplicação do DNA, num quadro intitulado “Ciência se discute - Desvendando a duplicação do DNA” onde são citados os nomes de Watson e Crick, atribuídos à descoberta da estrutura do DNA e de John Cairns, que observou o fenômeno da duplicação.

No livro B, no capítulo “Dos ácidos nucleicos às proteínas”, a história da Genética é abordada, porém de forma linear, citando quem foram os responsáveis pela descoberta da estrutura do DNA, quanto tempo e quais experimentos levaram à descoberta. Ainda, há um quadro denominado “fique por dentro” que sugere um artigo sobre as pesquisas que levaram à descoberta do DNA, intitulado “A descoberta da estrutura do DNA: de Mendel a Watson e Crick” (p.12), para que os alunos tenham acesso a mais detalhes da história desse tema. O capítulo também apresenta fotografias dos cientistas envolvidos e dos experimentos realizados, o que aproxima os alunos do conteúdo.

No entanto, o restante do capítulo, que fala sobre os processos de replicação do DNA, transcrição, tradução, síntese de proteínas e como ocorrem e quais os tipos de mutações, não fazem esse resgate histórico. Tais temas são somente explicados

de forma conceitual, sem resgate histórico de quem ou quais experimentos permitiram esse conhecimento.

No capítulo “Biotecnologia”, o resgate histórico é feito em todos os seus tópicos (p. 24-31), porém de forma rasa, citando o ano em que ocorreu a descoberta, quais experimentos a permitiram e quem foi o cientista responsável. Já no capítulo “Hereditariedade e Biologia Forense”, é feita uma contextualização histórica no corpo do texto (p. 106), sobre as descobertas de Gregor Mendel sobre a hereditariedade, citando seus experimentos, o que o levou a postular suas leis e os cientistas que as descobriram décadas depois, antes de iniciar o conteúdo técnico e conceitual. As descobertas posteriores a Mendel, no entanto, não possuem levantamento histórico, sendo apenas apresentadas conceitualmente.

Ao ler os três capítulos sobre Genética no livro D, foi possível perceber que há pouquíssima referência à história da ciência no texto. Os nomes de Rosalind Franklin, Watson e Crick são mencionados e relacionados com a descoberta da estrutura do DNA e do processo de replicação, mas não são citadas datas das descobertas, quais experimentos foram feitos e como se chegou às conclusões.

O livro F foi o que apresentou maior abordagem da história da ciência. O capítulo “Hereditariedade” fala sobre as primeiras ideias sobre hereditariedade de Aristóteles, Hipócrates e Charles Darwin (p. 125), como dito em 2.1, além de citar nomes como William Bateson e Thomas Morgan e suas contribuições (p. 128), que não foram citados em nenhum outro livro. Ainda nesse capítulo, ao falar sobre a hereditariedade proposta por Mendel, também é feita uma contextualização detalhada de seus experimentos e o nome de Wilhelm L. Johannsen é citado ao falar quem foi o responsável por cunhar o termo “genes” (p. 131), que explica os fatores hereditários idealizados por Mendel. Nos outros temas do capítulo, mais cientistas e experimentos são abordados.

Figura 1 – Abordagem da História da Ciência no conteúdo de genética da página 125 do livro F

PRIMEIRAS IDEIAS SOBRE HEREDITARIEDADE

Entre as primeiras explicações sobre o fenômeno da hereditariedade, destacam-se a teoria da pangênese, a teoria da pré-formação e a teoria da epigênese.

Teoria da pangênese

Na Antiguidade, o filósofo grego Hipócrates (460 a.C.-370 a.C.) propôs a **teoria da pangênese** para explicar a hereditariedade das características nos seres vivos. Segundo essa teoria, cada parte do corpo produziria uma espécie de partícula, a que ele chamou **gêmula**, capaz de dar origem a uma nova parte do mesmo tipo. Cada indivíduo, portanto, tinha um conjunto de gêmulas que transmitiria a seus descendentes todas as suas características inatas e também aquelas adquiridas ao longo de sua vida. No momento da concepção, as gêmulas seriam transferidas para os órgãos reprodutores do macho e da fêmea, o que garantiria a mistura das gêmulas dos dois genitores durante a formação do novo indivíduo. Essa mistura explicava as semelhanças entre pais e filhos.

A pangênese foi criticada por Aristóteles (384 a.C.-322 a.C.), filósofo grego que elaborou um tratado acerca da reprodução e da hereditariedade. Nesse tratado, Aristóteles argumentou que a pangênese não explicava a transmissão de certas características, como aquelas ligadas ao comportamento. Ele pontuou também que a pangênese não esclarecia por que algumas características adquiridas ao longo da vida (por exemplo, o aumento de massa muscular e as lesões corporais) não eram transmitidas aos descendentes nem como certas características eram herdadas de avós ou ancestrais mais distantes. Mesmo com as críticas de Aristóteles, a teoria da pangênese foi aceita por alguns cientistas até o século XIX.

Teoria da pré-formação versus teoria da epigênese

Na primeira metade do século XVII, o médico britânico William Harvey (1578-1657) propôs que todo animal se originava de um ovo produzido pela fêmea e fertilizado pelo macho. Essa ideia se contrapôs à teoria da geração espontânea, aceita por muitos pesquisadores da época, e influenciou também as explicações a respeito da hereditariedade. As reflexões de Harvey serviram de base para duas teorias distintas que seriam propostas no século seguinte.

Uma delas foi a **teoria da pré-formação**, que postulava a existência de um ser pré-formado no interior do óvulo (gameta feminino) ou no espermatozoide (gameta masculino) (veja imagem ao lado).

Assim, o desenvolvimento de um novo ser envolveria o crescimento desse indivíduo pré-formado após a cópula entre macho e fêmea. Alguns defensores da teoria da pré-formação acreditavam que cada descendente fosse uma cópia de um dos seus genitores, e não uma mistura de ambos.

A outra teoria baseada nas ideias de Harvey foi a da **epigênese**, que propunha haver em cada ovo fertilizado uma matéria indiferenciada com potencialidade para se desenvolver em um novo ser. Nesse caso, o desenvolvimento de um novo indivíduo envolveria profundas modificações em sua forma, além de crescimento. A epigênese, ao contrário da teoria da pré-formação, não contrariava a ideia de que as características de cada indivíduo são herdadas de ambos os genitores.

As duas teorias foram alvo de amplo debate nos séculos XVIII e XIX, e a concepção epigenética prevaleceu nos séculos seguintes.



Ilustração de homúnculo dentro de um espermatozoide (1694), baseada em representação atribuída ao matemático holandês Nicolaas Hartsoeker (1656-1725).

ROTEIRO

- Formem grupos de quatro componentes e pesquisem, em livros e sites confiáveis, sobre as três teorias apresentadas nesta página. Com base nessa pesquisa, procurem identificar os elementos que serviam de base pelos propositores de cada uma delas. Além disso, tentem reconhecer fragilidades que esses elementos apresentam de acordo com os conhecimentos científicos atuais. Apresentem os resultados à turma.

DE OLHO NO CONCEITO

Geração espontânea e biogênese

Segundo a teoria da geração espontânea, a vida pode surgir da matéria inanimada, ao contrário da teoria da biogênese, que defende que um ser vivo só pode originar de outro ser vivo preexistente.

Não escreva no livro.

125

FONTE: Ser Protagonista - Vida, saúde e Genética

No capítulo “Biotecnologia”, alguns resgates históricos pontuais são feitos sobre vacinas, antibióticos, terapia gênica e clonagem, mas não é feito um detalhamento como no capítulo “Hereditariedade”.

Por fim, no livro H, a história da ciência é abordada de forma pontual, algumas vezes fora do corpo do texto e em quadros e legendas de imagens, sem fazer uma contextualização de como se chegou nos contextos que estão sendo explicados.

Deste modo, verifica-se que os livros analisados procuram trazer a história da Genética nas discussões, indicando que é um elemento importante para a

compreensão dos conteúdos e para a formação do pensamento crítico, uma vez que a história da ciência humaniza os conteúdos (Kovaleski, 2013).

Além disso, a inclusão do contexto histórico no ensino permite que o aluno entenda a origem da produção do conhecimento e, conseqüentemente, podendo desenvolver criticidade sobre a temática que está sendo abordada (Bevilaqua, 2022).

Entretanto, muitos dos resgates históricos feitos nos livros, com exceção do livro F, são feitos de forma sucinta e muitas vezes pontual, o que não permite a compreensão efetiva dos conteúdos e pode, ainda, contribuir para a formação de uma visão romantizada da ciência e dos cientistas, uma vez que simplifica o processo de construção do pensamento científico (Martins, 2006).

5.1.3. Complexidade da linguagem e explicação dos conceitos

Nos livros A, C e G, como os elementos de Genética citados são apresentados desconexos à área, entende-se que os alunos já deveriam saber o que eles são e os conceitos não são bem explicados, dificultando a compreensão dos mesmos.

Os livros B, D, E, F e H, de maneira geral, apresentam vários conceitos e os detalham muito bem, utilizando algumas formas de esquematização das informações, como palavras em negrito, imagens, esquemas e quadros.

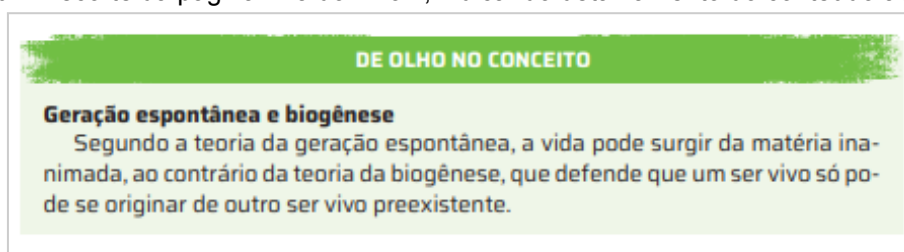
O livro B traz, no capítulo “Hereditariedade e Biologia Forense”, inúmeros conceitos de Genética e todos agrupados em uma parte só do livro. No entanto, todos os conceitos são destacados em negrito, explicados e detalhados, não somente expostos aos alunos, de modo a facilitar a compreensão dos mesmos. Além disso, o livro relaciona cada conceito abordado com o anterior e o posterior, mostrando que tudo dentro dessa área está interligado e utiliza figuras para representar o que está sendo dito. O mesmo foi encontrado nos outros dois capítulos do livro.

O livro D, assim como o livro B, traz vários conceitos da genética e os explica, com o auxílio de imagens para melhorar a visualização do que está sendo explicado.

No entanto, este livro não desenvolve tanto os conceitos como o livro B, tornando a linguagem um pouco mais difícil.

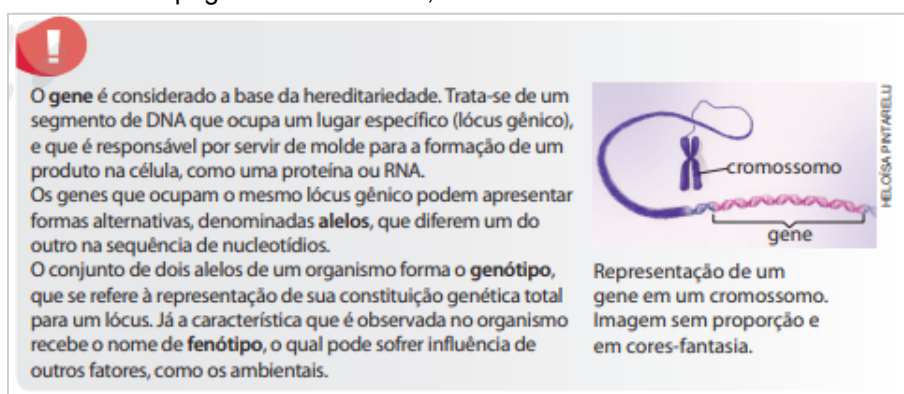
Os livros E, F e H também detalham muito bem os conceitos trazidos, utilizando texto em negrito e imagens para exemplificar. A diferença encontrada nestes três livros foi um cuidado a mais com a compreensão dos conceitos, com a utilização de quadros que buscam definir certas palavras citadas no texto para que os alunos entendam por completo o que está sendo dito. Nos livros E e F esses quadros são intitulados “De olho no conceito” e no livro H são quadros com pontos de exclamação, indicando que contêm informações importantes.

Figura 2- recorte da página 125 do livro F, indicando detalhamento do conteúdo abordado



FONTE: Ser protagonista - Vida, saúde e Genética

Figura 3- recorte da página 126 do livro H, indicando detalhamento do conteúdo abordado



FONTE: Diálogo - Ciências da Natureza e suas Tecnologias - Energia e sociedade: uma reflexão necessária

De maneira geral, os livros mostram uma preocupação em tornar os conteúdos menos técnicos, abordando de forma mais clara e desenvolvida os conceitos presentes na área da Genética, mas alguns ainda necessitam uma atenção maior a esse quesito.

Visto que a Genética é caracterizada por muitos conceitos e terminologias, consideradas de difícil compreensão pelos alunos e que se restringem aos

conhecimentos específicos de Biologia (Araújo, 2017), é necessário que os livros se atentem à forma com que estes são abordados para que o processo de ensino-aprendizagem dos alunos seja efetivo.

5.1.4. Aproximação do conteúdo com a vida dos alunos

De modo geral, os capítulos dos livros que abordam a molécula de DNA, o processo de replicação de DNA, síntese de proteínas e mutações, não aproximam os exemplos do cotidiano dos alunos pois é um tema muito conceitual, como visto nos livros A, C e G. Somente o livro E trouxe como exemplo de mutações a Fenilcetonúria (p.109), identificada pelo Teste do Pezinho, que pode ser de maior conhecimento dos alunos uma vez que é feito em todos os bebês que nascem no Brasil.

Os exercícios do livro B sobre o capítulo “Dos ácidos nucleicos às proteínas” são conteudistas e não se aproximam da realidade dos alunos. De fato, é um conteúdo difícil de ser abordado de outra forma, uma vez que se baseia em conceitos que são estáticos e que não tem como ser exemplificados de outra forma. Há duas relações com o ser humano, uma no corpo do texto (anemia falciforme para exemplificar mutações, p.20) e uma nos exercícios (utilização de RNAm humano para a produção de insulina, p. 22).

O capítulo “Biotecnologia” permite alguma aproximação ao utilizar como exemplos de aplicação da Biotecnologia as técnicas para cultivar algodão colorido (p.23), que é a matéria prima das roupas, e as cientistas responsáveis por sequenciar o genoma do Sars-Cov-2 (p.24), responsável pela pandemia que foi vivida intensamente por todos nós. Os exercícios deste capítulo, além de poucos (são somente nove exercícios para um capítulo com 10 tópicos importantes para a compreensão da área), não se aproximam do cotidiano dos alunos, somente citam uma certa relação com os seres humanos.

Já o capítulo “Hereditariedade e Biologia Forense” tenta fazer uma aproximação mais clara com o cotidiano dos alunos. A parte que explica a hereditariedade mendeliana utiliza os exemplos clássicos das ervilhas de Mendel, mas para explicar sistema sanguíneo (ABO e Rh) e suas aplicações, o capítulo

utiliza doenças e testes de DNA, como de paternidade (p.120) e identificação de pessoas (p. 118), temas que geram curiosidade nos alunos.

No livro D há uma atividade proposta muito eficaz para aproximar o conteúdo do cotidiano dos alunos (p. 53). Propõe-se que os alunos façam a extração de DNA de uma cebola, alimento que todos podem possuir em casa, e vejam na prática o que foi ensinado e que, muitas vezes, fica vago no entendimento deles por não ser um conteúdo visual.

Figura 4 - Sugestão de exercício com elementos do cotidiano apresentado na página 53 do livro D

Oficina científica

Extraindo o DNA de cebola


O estudo do DNA dos seres vivos é realizado há décadas, desde que técnicas para sua extração e análise foram desenvolvidas e aprimoradas. Muitas dessas técnicas exigem diversos equipamentos laboratoriais específicos. Mas, será possível extrair o DNA de certas células com poucos materiais e procedimentos simples?

» Materiais

- 1 cebola picada em pedaços pequenos;
- 1 colher de chá de sal de cozinha;
- 1 colher de sopa de detergente neutro;
- 150 ml de água filtrada a temperatura ambiente;
- 1 frasco de álcool 98° gelado (que havia sido mantido anteriormente no congelador por um dia);
- 2 copos de vidros transparentes identificados pelas letras A e B;
- 1 coador de café e 1 filtro de café;
- 1 panela com água aquecida a fogo baixo, para banho-maria;
- 1 recipiente plástico;
- Cubos de gelo;
- Papel filme.

» Procedimentos

- No copo A, adicione a água filtrada e misture, com cuidado, o detergente e o sal, de modo a não formar espuma. Adicione a cebola picada à mistura e cubra a abertura do copo com papel filme;
- Coloque o copo A no interior da panela com água aquecida a fogo baixo, mantendo-o em banho-maria por 20 minutos;
- Espere e o copo A esfriar por 5 minutos, remova o papel filme e filtre a mistura com auxílio do coador e do filtro de café. Armazene a solução filtrada no copo B.
- Mantenha apenas metade do volume do copo B com a solução filtrada e cubra a abertura do copo com papel filme.
- Adicione cubos de gelo no interior do recipiente plástico e coloque o copo B em seu interior. Mantenha-o no gelo por 5 minutos.
- Remova o papel filme e adicione o álcool gelado com cuidado, até que o volume do copo seja preenchido. Aguarde 10 minutos e observe os resultados.



1 Cuidado ao cortar a cebola em pedaços pequenos e ao realizar o banho-maria. Peça a um adulto para fazer essas etapas.

As respostas e os comentários das atividades estão disponíveis no Manual do Professor. Não escreva no livro

1. A partir dos resultados observados, responda ao questionamento inicial.
2. Qual a origem do DNA visualizado na atividade prática?
3. Por que o detergente foi utilizado na atividade prática? Se necessário, realize uma pesquisa para responder a essa pergunta.
4. Forme um grupo com seus colegas e elaborem dois questionamentos que devem ser respondidos pelos demais. Seus questionamentos devem ser referentes à atividade prática e/ou a seu assunto.

Os livros F e H, apesar de não aproximar os exemplos do cotidiano dos alunos, buscam introduzir elementos que estejam presentes na vida humana, como o albinismo para exemplificar os cálculos de probabilidade (livro F, p. 133; livro H, p.133) e a Síndrome de Down para exemplificar as aneuploidias (livro F, p. 139; livro H, p.148). O livro H traz mais exemplos de genética humana que o livro F, mas ainda assim não são exemplos que pertencem verdadeiramente ao cotidiano dos alunos. Nos exercícios, os livros priorizam exemplos de plantas e animais.

A análise permitiu observar que poucos livros realizam uma contextualização dos conteúdos de genética com o cotidiano dos alunos, tornando o assunto distante dos mesmos e possibilitando uma não compreensão. Segundo Lima (2000), a contextualização do ensino ocorre quando são levados em consideração o cotidiano e os conhecimentos prévios dos alunos (Lima, 2000).

Ainda, adicionar aspectos humanos no processo de ensino promove essa contextualização no ensino de genética, aproximando os alunos (Melo, 2009). No entanto, pouco foi visto nos livros analisados e a aproximação do conteúdo não vai totalmente de acordo com a visão freiriana.

5.1.5. Abordagem da Nova Biologia e do Aconselhamento Genético

Com as análises foi possível perceber que há uma preocupação, em todas as coleções, em abordar temas da Nova Biologia, que incluem a Biologia molecular e a Biotecnologia, e que estão cada vez mais presentes na mídia e no cotidiano das pessoas (Xavier, 2006), inclusive alunos e professores. Os livros que apresentam esses temas são os livros B, D e F.

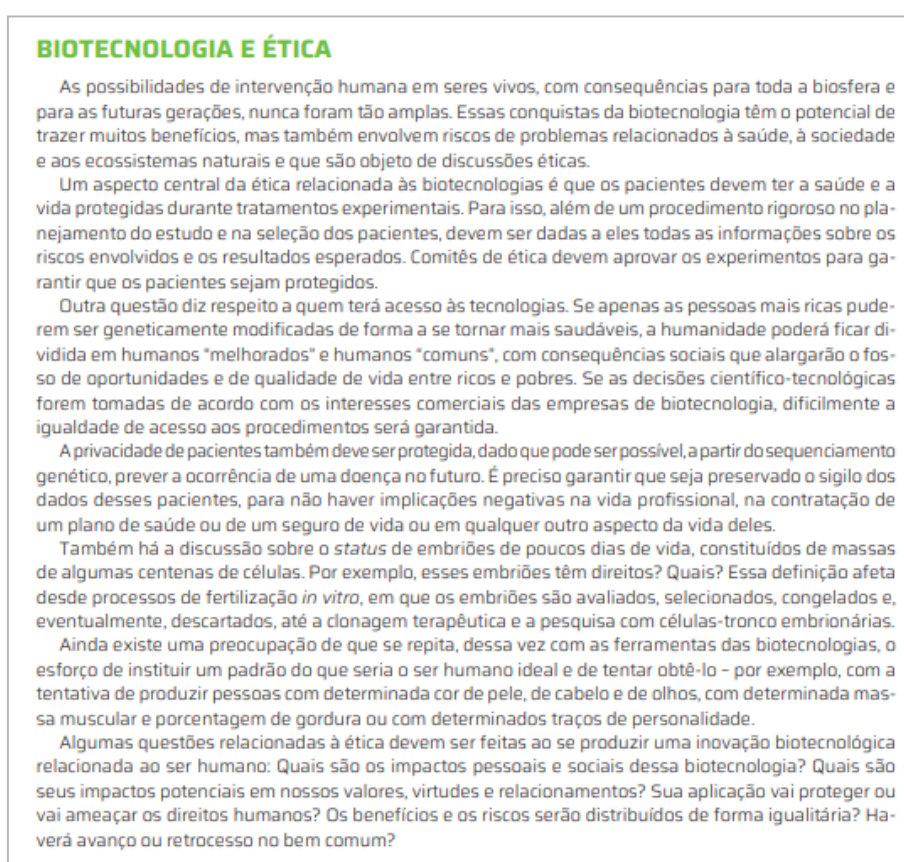
O livro B possui dois capítulos que falam sobre elementos da Nova Biologia. O capítulo “Biotecnologia” aborda Organismos Transgênicos, Clonagem de DNA, Terapia e vacina gênica, técnica CRISPR para edição de DNA, técnica PCR, técnica de DNA recombinante. O capítulo “Hereditariedade e Biologia Forense” introduz a Nova Biologia ao falar da identificação de pessoas pelo DNA, a partir de técnicas de Biologia molecular.

O livro D, no capítulo “Biotecnologia” aborda organismos geneticamente modificados, clonagem de DNA, terapia gênica, DNA recombinante e células tronco.

Além disso, no capítulo “Vacinas”, o livro mostra a utilização de técnicas de biotecnologia para o desenvolvimento de vacinas.

O livro F apresenta as tecnologias envolvidas na produção de vacinas e antibióticos, tecnologia do DNA recombinante que permite a clonagem, organismos transgênicos, terapia gênica, sequenciamento de DNA, clonagem e utilização de células tronco. O capítulo se atenta, também, a apresentar e a discutir a ética envolvida nas técnicas da biotecnologia

Figura 5 - Abordagem de Biotecnologia e ética na página 152 do livro F



FONTE: Ser protagonista - Vida, saúde e Genética

Dois livros abordam a chamada Biologia Sintética, nova área da Biotecnologia que tem como objetivo construir organismos artificiais que produzam novas moléculas de interesses específicos e redesenhar organismos já existentes para maximizar e direcionar sua Biologia para a produção de moléculas de interesse.

O livro F abordou um tema atual da genética ao propor um exercício sobre testes genéticos e aconselhamento genético, sendo o único a abordar este último

tema. Com um caso de diagnóstico de câncer possibilitado por testes genéticos, os alunos foram incentivados a discutir como o aconselhamento pode interferir no planejamento familiar e a debater sobre o aconselhamento genético, se são contra ou não, argumentando com pontos de vista éticos, religiosos, políticos ou emocionais, incentivando assim o desenvolvimento crítico que parta da realidade em que estão inseridos.

Figura 6- Sugestão de simulação de consulta de aconselhamento genético como exercício na página 49 do livro H

•
Aconselhamento genético

Teste genético possibilitou antecipar diagnóstico de câncer em quatro irmãos de Rondônia

ROLOFF, S. Teste genético possibilitou antecipar diagnóstico de câncer em quatro irmãos de Rondônia. IBCC. 26 maio 2020. Disponível em: <<https://ibcc.org.br/histe-genetico-possibilitou-antecipar-diagnostico-de-cancer-em-irmaos-de-rondonia/>>. Acesso em: 4 ago. 2020.

Respostas no Suplemento para o professor.

- Como você acha que é possível prever a ocorrência de câncer, por exemplo, como relatado na manchete?

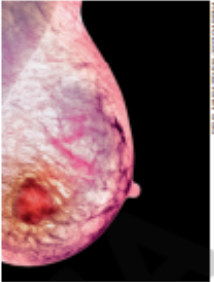
O caso de que trata a manchete acima envolve o aconselhamento genético. De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), esse tipo de aconselhamento tem por objetivo tornar as questões de ordem genética compreensíveis, visando prevenir ou identificar, com base nos antepassados de determinada família, genótipos que estejam relacionados a enfermidades ou a defeitos congênitos e suas possíveis prevenções ou atenuações.

O aconselhamento genético fornece um serviço assistencial e educativo, possibilitando que a família portadora de algum gene alterado (pai, mãe ou outros parentes) possa tomar uma decisão consciente em relação a gerar ou não filhos biológicos, além de orientar a família quanto à sua condição genética.

Alguns estudos indicam que a maioria das pessoas que possuem histórico familiar com alterações de ordem genética não conhece sua própria condição genética e médica, uma vez que, muitas vezes, não encontra profissionais especializados para a investigação correta dessas condições. Apesar disso, segundo a portaria 81/09 do Ministério da Saúde, o SUS (Sistema Único de Saúde) deve oferecer aconselhamento genético para as famílias, com o objetivo de reduzir o desgaste emocional e financeiro, pois algumas síndromes ou doenças congênitas demandam tratamentos caros.

O aconselhamento genético é realizado por uma equipe multidisciplinar de profissionais, com médicos de diferentes áreas, como geneticistas e obstetras, psicólogos, assistentes sociais, fisioterapeutas, entre outros. Em suas respectivas áreas de atuação, esses profissionais têm por objetivo colaborar para: o aconselhamento do paciente quanto ao diagnóstico; a orientação nas condutas a serem adotadas; o esclarecimento sobre a influência e os riscos referentes à hereditariedade; as alternativas para esses riscos, sempre respeitando a ética e a religiosidade das famílias ou dos envolvidos.

Com os avanços proporcionados pelo sequenciamento do genoma humano e as novas tecnologias disponíveis, o aconselhamento genético vem sendo indicado para a prevenção de diversas doenças.



Radiografia de mama, mostrando tumor maligno (em vermelho). Cores artificiais. Mutações nos genes BRCA1 e BRCA2 elevam em até 80% o risco de câncer de mama e de ovário. Assim, pessoas com esse tipo de mutação têm mais chances de desenvolver tais tipos de câncer.

- a) Como o aconselhamento genético pode interferir no planejamento familiar?
- b) Como a probabilidade pode auxiliar no aconselhamento genético?
- c) Organizem-se em dois grupos: um que defende o aconselhamento genético e outro que seja contrário a esse tipo de aconselhamento. No debate, vocês devem apresentar argumentos consistentes para defender seus pontos de vista, éticos, religiosos, culturais, políticos ou emocionais.

FONTE: Diálogo - Ciências da Natureza e suas Tecnologias- Energia e sociedade: uma reflexão necessária

A análise dos livros permitiu constatar que há a inclusão de temas da nova Biologia nos livros didáticos do ensino médio, em quase todas as coleções, indicando que é dada certa importância ao tema. Segundo Xavier (2006), os temas da Nova Biologia são recorrentes na mídia e possuem grande apelo social e influência na vida das pessoas, mas não necessariamente estão representados nos livros didáticos (Xavier, 2006).

Desse modo, são conteúdos relevantes de serem abordados na educação básica uma vez que estão presentes no dia a dia dos alunos. Xavier (2006) destaca a importância de se debater sobre organismos transgênicos, clonagem, terapias gênicas, células tronco e testes genéticos, todos esses vistos nos livros didáticos analisados.

O tema Aconselhamento Genético, no entanto, é visto somente em um dos livros dos 8 analisados. Apesar de Krasilchik indicar que é possível articular esse serviço com o ensino de genética (Krasilchik, 2004), para auxiliar a compreensão dos alunos, ainda não é um tema muito abordado nos livros didáticos das escolas brasileiras.

Abordá-lo, juntamente com a abordagem de temas da nova Biologia, que são cada vez mais recorrentes no dia a dia dos alunos e da população geral, permite que discussões sobre ética e responsabilidade sejam feitas, estimulando os alunos a desenvolverem o pensamento crítico tão desejado no processo de ensino-aprendizagem.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho ressalta a complexidade da Genética e a necessidade de uma atenção especial na hora de ensiná-la, com o apoio do livro didático, instrumento importante para a prática pedagógica e aliado ao cumprimento do currículo escolar. Devido à importância, os livros precisam estar atualizados para acompanharem a velocidade com que as novas informações são divulgadas na mídia.

Devido a isso, buscou-se analisar como os livros de Ciências da Natureza e suas tecnologias para o ensino médio, aprovados pelo Programa Nacional do Livro e do Material Didático de 2021 e distribuídos às escolas públicas brasileiras, abordam a Genética, atentando-se para a abordagem da história da ciência, relação da genética com outros temas, aproximação dos conteúdos com o cotidiano dos alunos, dificuldade da linguagem e abordagem de temas da nova Biologia e aconselhamento genético, apontados como desafios e dificuldades do ensino de genética.

A análise mostrou que os livros buscam contextualizar as informações por meio da abordagem da história da ciência, mas ainda é uma abordagem precária e sucinta na maioria dos livros, ficando restrita às datas e nomes dos responsáveis pela descoberta ou experimento, de forma linear, sem contextualização histórica e social. Visto que o contexto histórico da genética permite que os alunos entendam a origem e o desenvolvimento do conhecimento científico, que não pode ser visto como uma informação pronta, é necessário um desenvolvimento maior desse aspecto nos livros didáticos, para que os educandos consigam visualizar os acontecimentos nos contextos em que ocorreram.

Nesse mesmo sentido, fazer uma relação clara da genética com outros temas da Biologia, como os processos de divisão celular, intimamente ligados à transmissão de características, permite que as informações tornem-se mais claras e os educandos entendam os conteúdos como complementares, não compartimentados. Observou-se, no entanto, que esse quesito poderia ser melhor desenvolvido nos livros didáticos devido à importância que possuem para a compreensão, uma vez que há pouca relação entre Genética e outros temas da Biologia.

Foi possível perceber também que há uma preocupação em inserir, no processo de ensino-aprendizagem, e conseqüentemente nos livros didáticos, temas atuais da Genética Moderna, por estarem presentes no dia-a-dia dos alunos devido a velocidade com que são veiculados na mídia, e não somente a Genética Clássica, que aborda os padrões de herança mendelianos e heredogramas, por exemplo.

Isso fica claro quando coloca-se em porcentagem a abordagem de tais temas: 50% dos livros analisados possuem capítulos dedicados à discussão da genética moderna. No entanto, se olharmos essa porcentagem na coleção inteira, os números caem: somente 16% dos livros abordam essa área, ou seja, 4 livros dos 24 totais das coleções.

Além disso, a Genética encontra-se concentrada em somente um livro em cada coleção, apesar de haver conceitos pertencentes à ela em outros, como mostrou a análise. Levando em consideração que os volumes da coleção não possuem ordem específica e são destinados para serem usados durante o ensino médio inteiro, é provável que a abordagem dessa área seja escassa, prejudicando o processo de ensino-aprendizagem dos alunos.

Apesar dos apontamentos acima, os livros analisados mostram-se atuais, preocupados com a compreensão dos alunos sobre os temas, além de incentivarem discussões e promoverem o desenvolvimento de olhares críticos sobre temas como clonagem, testes genéticos, terapia gênica, organismos transgênicos e aconselhamento genético, amplamente divulgados na mídia mas ainda pouco trabalhados nas salas de aula.

Notou-se que os livros didáticos mostram certo interesse em promover um processo de ensino-aprendizagem que não siga moldes e que procure instigar o educando a questionar o mundo em que vive. No entanto, os livros didáticos possuem os conteúdos pré-estabelecidos, estáticos e muito conceituais, de modo que a aproximação com os pressupostos da educação CTS e da pedagogia emancipadora de Paulo Freire fica dependente da postura do educador em relação ao livro didático.

Ainda, a respeito da educação CTS, há pouca abordagem social dos temas da Genética, sendo que estes se mantêm conteudistas na grande maioria dos livros. Uma vez ressaltada a importância desse enfoque para o processo de

ensino-aprendizagem, é válido que os livros didáticos atentem-se em trazer abordagens sociais dos conceitos que estão sendo trabalhados, evidenciando a implicação dos mesmos na sociedade.

Dessarte, apesar de os livros didáticos apresentarem aspectos positivos, é necessário que uma atenção continue sendo voltada para a forma com que a Genética está sendo abordada nos mesmos, pois ainda há aspectos que precisam ser atualizados e melhorados, de modo a aumentar a eficácia do ensino e do entendimento dos educando e, conseqüentemente, da população geral, uma vez que os livros são amplamente distribuídos nas escolas do país e que o conhecimento não fica restrito ao âmbito escolar.

REFERÊNCIAS

AULER, Décio; DELIZOICOV, Demétrio. Educação CTS: articulação entre pressupostos do educador Paulo Freire e referenciais ligados ao movimento CTS. **Seminário Ibérico CTS no ensino das ciências: las relaciones CTS en la Educación Científica**, v. 4, p. 1-7, 2006.

DE ARAUJO, Yzila Liziane Farias Maia. Enfoques de CTS no Ensino de Ciências e Biologia. 2012.

ARAUJO, Adriano Bruno; GUSMÃO, Fabio Alexandre Ferreira. As principais dificuldades encontradas no ensino de genética na educação básica brasileira. **Encontro Internacional de Formação de Professores e Fórum Permanente de Inovação Educacional**, v. 10, n. 1, p. 1-11, 2017.

ARCANJO, Fernanda Gonçalves; SILVA, Edson Pereira. Pangênese, genes, epigênese. **História, Ciências, Saúde-Manguinhos**, v. 24, p. 707-726, 2017.

AZEVÊDO, Eliane Elisa de Souza. The teaching of Bioethics: a transdisciplinary challenge. **Interface-Comunicação, Saúde, Educação**, v. 2, p. 127-138, 1998.

BAIOTTO, Cléia Rosani et al. Para ensinar genética mendeliana: ervilhas ou lóbulos de orelha?. **Genética na Escola**, v. 11, n. 2, p. 286-293, 2016.

BAIOTTO, Cléia Rosani; DA SILVA LORETO, Élgion Lucio. Caracteres humanos herdados utilizados no ensino de Genética em livros didáticos. **Acta Scientiae**, v. 20, n. 4, 2018.

BELMIRO, Michel Stórquio et al. 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.

BEVILAQUA, Vanessa Rezende; FRANCO, Fernando Faria; SILVA, Antônio Fernando Gouvêa. A presença do contexto histórico sobre o entendimento do DNA como material hereditário nos livros didáticos de Biologia sob a ótica da epistemologia fleckiana. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 28, 2022.

BOAS, Adlane Vilas et al. Conceitos errôneos de Genética em livros didáticos do ensino médio. **Genética na escola**, v. 1, n. 1, p. 9-11, 2006.

BRASIL. PCN + Ensino Médio: Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília: MEC, SEMTEC, 2002.

BRASIL. Orientações curriculares para o ensino médio: Ciências da natureza, matemática e suas tecnologias. Volume 2. Secretaria de Educação Básica. Brasília, Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica, 2006.

BRASIL, Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica. Guia Digital PNLD 2021 - Obras didáticas por áreas do conhecimento e específicas: Ciências da Natureza e suas Tecnologias. Brasília: MEC/SEB/FNDE, 2021. https://pnld.nees.ufal.br/assets/pnld/guias/Guia_pnld_2021_didatico_pnld-2021-obj2-ciencias-natureza-suas-tecnologias.pdf.

CACHAPUZ, António Francisco. Epistemologia e ensino das ciências no pós-mudança conceptual: análise de um percurso de pesquisa. **Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 2, 1999.

CUNHA, Solange et al. História da genética no Brasil: as contribuições de Friedrich Gustav Brieger para o melhoramento do milho (1938-1966). 2010.

DARWIN, Charles. **The variation of animals and plants under domestication**. J. Murray, 1868.

DEL CONT, Valdeir. Francis Galton: eugenia e hereditariedade. **Scientiae Studia**, v. 6, p. 201-218, 2008.

DOMINGUES, Heloisa Maria Bertol; SÁ, Magali Romero; GLICK, Thomas. **A recepção do darwinismo no Brasil**. Editora Fiocruz, 2003.

FONSECA, M. S. A ênfase curricular CTS-Ciência, Tecnologia e Sociedade. 2008

FORMIGA, Dayana de Oliveira. **A História da Genética no Brasil: origens da institucionalização e aplicação à população humana (1920-1970)**. 2018. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

FRANZOLIN, Fernanda et al. Generalizações que distanciam os conhecimentos dos livros didáticos das referências em Genética. **Genética na escola**, v. 9, n. 2, p. 92-103, 2014.

FREIRE, P. (1987). *Pedagogia do Oprimido*. 17 ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra.

FROTA-PESSOA, O. Primórdios da Genética humana no Brasil. **Ciência & Ambiente**. v. 26, Santa Maria.

GALTON, F. On blood-relationship. *Proceedings of the Royal Society of London*, 20: 394-402, 1872.

GARCIA, Eloi S.; CHAMAS, Claudia Inês. Genética molecular: avanços e problemas. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 12, n. 1, p. 103-107, 1996.

GAYON, Jean. From Mendel to epigenetics: History of genetics. **Comptes rendus biologies**, v. 339, n. 7-8, p. 225-230, 2016.

GLICK, T. A Fundação Rockefeller e a emergência da Genética no Brasil. In: **A recepção do darwinismo no Brasil**. 2003. p. 163-163.

KRASILCHIK, Myriam. **Prática de ensino de biologia**. Edusp, 2004.

LEITE, Raquel Crosara Maia et al. A produção coletiva do conhecimento científico: um exemplo no ensino de genética. 2004.

MARTINS, L. A. C. P. A história da ciência e o ensino da biologia. **Ciência & Ensino**, v. 5, n. 2, p. 8, 1998.

MARTINS, L.A.P; BRITO, A.P. A história da ciência e o ensino da Genética e evolução no nível médio: um estudo de caso. **Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino**. São Paulo: Editora Livraria da Física. 2006.

MARTINS, R. A. Interdisciplinaridade: a história das ciências e seus usos na educação. In: SILVA, C. C. **Estudos de História e Filosofia das Ciências: subsídios para aplicação no ensino**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006.

MATTOS, Laura; FARIAS, Flávia. Da creche ao ensino médio, 17% dos brasileiros estão em escolas particulares. Folha de São Paulo. 16 ago 2022. DeltaFolha. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/educacao/2022/08/da-creche-ao-ensino-medio-so-17-dos-brasileiros-estao-em-escolas-particulares.shtml>. Acesso em: 15 jul 2023.

MATTHEWS, Michael S. História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 12, n. 3, p. 164-214, 1995.

MAYR, E. O desenvolvimento do pensamento biológico. Brasília: ed. da Universidade de Brasília, 1998.

MAYR, E. Biologia, ciência única: reflexões sobre autonomia de uma disciplina científica. São Paulo: Companhia das Letras, 2005.

MESSIAS, Elvis Rezende et al. Epistemologia da complexidade e transdisciplinaridade: uma introdução. **Educação & Linguagem**, v. 26, n. 1, p. 5-29.

MOURA, Joseane et al. Biologia/Genética: O ensino de biologia, com enfoque a genética, das escolas públicas no Brasil—breve relato e reflexão. **Semina: ciências biológicas e da saúde**, v. 34, n. 2, p. 167-174, 2013.

MUKHERJEE, S. O gene: uma história íntima. Trad. Laura Teixeira Motta. São Paulo: Companhia das Letras, 2016

NASCIMENTO, T. G; VON LINSINGEN, I. Articulações entre o enfoque CTS e a pedagogia de Paulo Freire como base para o ensino de ciências. **Convergência**, v. 13, n. 42, p. 95-116, 2006.

NASCIMENTO, T. G; MARTINS, I. O texto de Genética no livro didático de ciências: uma análise retórica crítica. **Investigações em ensino de Ciências**, v. 10, n. 2, p. 255-278, 2005.

NETTO, Regina Célia Mingroni et al. Aconselhamento genético: será que eu preciso? **Genética na Escola**, v. 14, n. 1, p. 34-43, 2019.

OLIVEIRA, Talles Henrique G.; DOS SANTOS, Neusa Fernandes; BELTRAMINI, Leila Maria. O DNA: uma sinopse histórica. **Revista de Ensino de Bioquímica**, v. 2, n. 1, p. 1-16, 2004.

POLIZELLO, A. O desenvolvimento das ideias de herança de Francis Galton: 1865-1897. **Filosofia e História da Biologia**, v. 6, n. 1, p. 1-17, 2011.

POLIZELLO, A; MARTINS, L. P.. Modelos microscópicos de herança no século XIX. **Filosofia e História da Biologia**, v. 7, n. 2, p. 137-155, 2012.

SANTOS, F. D.; SILVA, A. F. G. FRANCO, F. F. 110 anos após a hipótese de Sutton-Boveri: a teoria cromossômica da herança é compreendida pelos estudantes brasileiros? **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 21, p. 977-989, 2015.

SANTOS, W. L. P. Educação CTS e cidadania: confluências e diferenças. **Amazônia: Revista de educação em ciências e matemática**, v. 9, n. 17, p. 49-62, 2012.

SEVERINO, Antônio Joaquim. Do ensino da filosofia: estratégias interdisciplinares. **Educação em Revista**, v. 12, n. 1, p. 81-96, 2011.

SILVA, D. C. Percepção dos discentes de ciências da saúde sobre o ensino de Genética e aconselhamento genético. **Anais II CONBRACIS**. Campina Grande. Realize Editora, 2017.

SOUZA, Vanderlei Sebastião de et al. História da Genética no Brasil: um olhar a partir do Museu da Genética da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. **História, Ciências, Saúde-Manguinhos**, v. 20, p. 675-694, 2013.

TEIXEIRA, I. M.; SILVA, E. P. História da eugenia e ensino de Genética. **História da ciência e ensino: construindo interfaces**, v. 15, p. 63-80, 2017.

WOOD-ROBINSON, C.; LEWIS, J.; LEACH, J. Young people's understanding of the nature of genetic information in the cells of an organism. **Journal of Biological Education**. v.35, n.1, p.29-36. 2000.

ANEXO 1 - TRANSCRIÇÃO DE EXERCÍCIO SUGERIDO NO LIVRO “PRÁTICA DO ENSINO DE BIOLOGIA” DE MYRIAM KRASILCHIK

Atividade A: o exame cromossômico

Procedimento do professor

Uma simulação do procedimento adotado em rotina nos serviços de aconselhamento genético poderá facilitar a compreensão dos mecanismos envolvidos. Com o fim, sugerimos que apresente a seus alunos uma situação comumente encontrada nas instituições que prestam esse tipo de serviço:

“Um casal tem um bebê que nasceu com características anômalas. O exame clínico aponta para uma síndrome de origem genética e, por esse motivo, a família é encaminhada a um centro de genética médica.

Nesse centro, a criança é novamente examinada e os sinais encontrados (hipotonia muscular, face achatada, fissuras palpebrais oblíquas com ângulos externos elevados, pele abundante no pescoço, prega palmar transversa única e orelha de baixa implantação) sugerem como diagnóstico a síndrome de Down, causada por uma aberração cromossômica. (Para conhecer maiores detalhes sobre essa síndrome, veja o texto de apoio que acompanha essas atividades.)

Para confirmar o diagnóstico e ter elementos para posterior orientação à família, os geneticistas solicitam um exame cromossômico, o cariótipo.”

Explique aos alunos que, para realizar esse exame, é preciso obter células em processo de divisão. Para isso, coleta-se sangue do indivíduo e, no laboratório, *in vitro*, estimula-se a divisão das células ali presentes. Passado algum tempo, suficiente para que várias gerações de células tenham se formado, usam-se substâncias apropriadas e interrompe-se o ciclo de divisões na fase da metáfase. Nesse estágio os cromossomos encontram-se ainda unidos pelo centrômero e bastante condensados. Preparam-se lâminas desse material que, depois de coradas, são observadas ao microscópio óptico.

Os cromossomos obtidos por essa técnica são então analisados quanto ao número (aneuploidias) e estrutura (rearranjos cromossômicos). Para facilitar o

exame, os cromossomos são organizados em grupos, de acordo com suas características estruturais - tamanho e posição do centrômero.

- a) grupo A: com três pares, inclui os cromossomos maiores da célula. Dois desses pares têm o centrômero localizado no meio do seu comprimento - são metacêntricos; no terceiro par, o centrômero fica um pouco deslocado para uma das extremidades.
- b) grupo B: ficam os dois pares de cromossomos grandes e submetacêntrico (com o centrômero mais perto de uma das extremidades).
- c) grupo C: ficam os cromossomos de tamanho médio com o centrômero mais perto de uma extremidade. Nesse grupo se inclui o cromossomo sexual X.
- d) grupo D: três pares com o centrômero na extremidade (acrocêntricos), e tamanho médio
- e) grupo E: três pares de cromossomos pequenos, metacêntricos e submetacêntricos.
- f) grupo F: Dois pares de cromossomos pequenos com centrômero no meio.
- g) grupo G: dois pares de cromossomos acrocêntricos pequenos. O cromossomo Y também é incluído neste grupo.

Os alunos simularão parte do trabalho realizado pela análise dos cromossomos. Deverão receber uma cópia do cariótipo que representa os cromossomos da criança descrita no início do exercício: de posse desse material irão estudar o cariótipo desse indivíduo, fornecendo o resultado à família.

Procedimento do aluno

- a) os indivíduos normais tem 46 cromossomos em suas células. Conte o número de cromossomos da célula que está sendo analisada;
- b) localize e identifique, em sua figura, os cromossomos dos grupos A, B, C, D, e e F;

Se o indivíduo em questão for do sexo feminino, haverá em suas células 16 cromossomos do grupo C (oito pares). Se for do sexo masculino, encontraremos um cromossomo a menos no grupo C e um a mais no grupo G, o cromossomo Y. As mulheres têm dois cromossomos X, e os homens têm um cromossomo X e um cromossomo Y.

- c) localize e identifique os cromossomos do grupo C. Quantos são?
 - d) localize e identifique os cromossomos do grupo G. Quantos são?
1. Qual o sexo do indivíduo que está sendo analisado?
 2. A que grupo pertence o cromossomo que está a mais em suas células?
 3. Há confirmação para suposição de que a síndrome apresentada pela criança é causada por uma aberração cromossômica?

Procedimento do professor:

Confira se os alunos identificaram o cromossomo extranumerário como pertencente ao grupo G. Em seguida esclareça que se trata de um representante do par 21 e que a trissomia (presença de três representantes) desse cromossomo é a causa do quadro clínico característico da Síndrome de Down. Se achar conveniente, informe aos alunos como é feita a notação para resumir a análise do cariótipo: 47,XY+G.

O número 47 se refere ao total de cromossomos encontrados, as letras X e Y referem-se aos cromossomos sexuais identificados, e o sinal +, seguido da letra G, indica a que grupo pertence o cromossomo extranumerário. Cariótipos normais são indicados pelas expressões 46,XX e 46,XY, respectivamente, para indivíduos do sexo feminino e masculino.

Atividade B: aconselhamento genético - uma simulação

Procedimento do professor

Confirmado o diagnóstico da Síndrome de Down pelo cariótipo 47,XY+G, cabe à Genética sugerir alguns procedimentos e dar certas orientações para a família por conviver melhor com a criança afetada e lhe proporcionar melhores condições de

vida dentro de suas limitações. Nada é possível fazer para reverter ou curar essa anomalia.

Mas esse não é o propósito e o limite de ação de um serviço de aconselhamento genético. Sua função é esclarecer a família sobre os riscos de ocorrer novamente o mesmo problema, na hipótese de o casal pretender ter outros filhos.

O que dizer ao casal sobre os riscos futuros? Essa síndrome pode se repetir, caso tenham mais filhos?

Proponha à classe a realização de uma simulação em que alguns alunos representem pessoas que solicitam serviços de aconselhamento genético, e outros, que representem geneticistas.

Destaque três duplas que representarão três casais em condições semelhantes às que foram descritas até aqui - todos tem uma criança afetada pela síndrome de Down com cariótipo 47,XY+21. As diferenças são descritas a seguir. Entregue a cada dupla informações relativas ao casal que representarão.

Casal 1: homem e mulher jovens entre 20 e 30 anos. São pessoas saudáveis e sem antecedentes dessa natureza em suas famílias. Antes do menino com síndrome de Down, já tinham um filho normal; Querem ter outros filhos e gostariam de saber se há riscos do problema se repetir.

Casal 2: homem de 42 anos de idade e a mulher de 39; já tiveram três filhos, todos saudáveis. O menino que nasceu recentemente é o único na família que apresenta esse conjunto de anomalias.

Casal 3: O homem tem 45 anos e a mulher, de 40 anos, está grávida de poucas semanas. O primeiro filho do casal é portador da síndrome de Down e desejam saber os riscos de esse bebê, ainda em gestação, também ser portador dessa anomalia. Querem saber se existe uma maneira de ter certeza se o bebê será afetado ou não.

Os demais alunos da classe representarão os profissionais do serviço de aconselhamento genético. Forneça a eles as informações necessárias para entrevistar os casais, analisar cada caso e fornecer-lhes as estimativas de risco e algumas opções de procedimento (veja texto de apoio). Eles deverão obter

informações como idade do casal, número de filhos, problemas de saúde dos familiares. As crianças afetadas já têm o resultado do cariótipo (47,XY+21).

Os alunos deverão discutir cada caso tendo em vista as variáveis:

- origem do cromossomo extranumerário (processo de não-disjunção ou translocação);
- idade dos pais (se são jovens ou se já se incluem na faixa de maior risco);
- opções de exame pré-natal (amniocentese e vilosidade coriônica).

Tendo chegado a uma conclusão sobre cada caso, os geneticistas deverão informar os casais sobre os riscos e sugerir que, de posse desses dados, eles decidam sozinhos se desejam ou não ter mais filhos e, no caso do casal 3, se estão dispostos a se submeter a um exame pré-natal (análise cromossômica do feto).

Texto de apoio

A síndrome de Down, ou mongolismo como também é chamada, caracteriza-se por um conjunto de defeitos. Os portadores dessa síndrome apresentam o occipital e a face achatados; as orelhas são pequenas e baixas, assim como o nariz; os olhos têm pregas epicânticas internas e as fendas palpebrais são oblíquas; a língua é geralmente protusa e o pescoço é curto e largo. Os dedos são curtos, e as mãos são pequenas - apresentam uma única prega palmar transversa. A musculatura é hipotônica e o desenvolvimento motor das crianças (sustentar a cabeça, andar, etc) é atrasado. O retardo mental é grave. Os afetados são mais suscetíveis a infecção das vias respiratórias e, com frequência, apresentam problemas cardíacos e defeitos do tubo digestivo.

A incidência dessa afecção é relativamente alta. Estima-se que a cada 700 crianças nascidas vivas uma é portadora da Síndrome de Down.

Sua causa é a existência de um cromossomo 21 a mais em suas células. As pessoas normais têm 46 cromossomos em suas células - um par de cromossomos sexuais (XX ou XY) e mais vinte e dois pares chamados cromossomos autossomos. Os portadores da síndrome de Down têm 47.

A origem desse cromossomo extranumerário pode ter duas explicações:

- não-disjunção: nesse caso, o problema que resulta na trissomia do 21 é um erro que ocorre na meiose que origina um dos gametas. Durante a anáfase, momento em que os cromossomos se separam, os dois cromossomos do par permanecem juntos, indo para o mesmo gameta. Este, na fecundação, junta-se a outro gameta que já tem um cromossomo 21, resultando em um zigoto com três cromossomos do mesmo tipo;
- translocação: no caso de translocação o cromossomo 21 está ligado a um outro cromossomo (do grupo D ou do grupo G). Sendo assim, o número total de cromossomos aparece inalterado, ou seja, 46, já que o material em excesso está ligado a um outro cromossomo, não aparecendo individualizado.

A translocação pode ter origem na formação do indivíduo que tem a afecção e pode estar presente num dos pais, de forma equilibrada. Quando a translocação está num dos pais, o risco de recorrência da síndrome de Down entre os filhos fica bastante aumentado. Se, através do cariótipo, se verifica que a origem da trissomia é uma translocação, recomenda-se o exame do cariótipo também dos pais.

A trissomia livre, ou seja, aquela que tem origem por não-disjunção, ocorre com maior frequência nos casos em que as mães têm idade mais avançada. Enquanto a incidência de nascimentos de crianças com síndrome de Down de mães entre 25 e 30 anos é de cerca de 1 a cada 1.200, entre as mães de 35 a 40 anos essa incidência aumenta para 1 a cada 290 nascimentos.

Assim, desaconselha-se a concepção para mulheres de mais idade. Entretanto, alguns exames pré-natais podem informar sobre a constituição cromossômica do feto. Nos países em que se admite o aborto para evitar o nascimento de uma criança afetada, os casais podem se valer desses exames que apuram, com precisão, se o feto em gestação é portador da trissomia ou não e, em função do resultado, interromper a gravidez.