



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UnB
Instituto de Ciências Biológicas - IB
Mestrado Profissional em Ensino de Biologia - PROFBIO

**DETERMINISMO BIOLÓGICO ENTRE PROFESSORES DO
ENSINO MÉDIO CURSISTAS DO MESTRADO PROFISSIONAL
PROFBIO DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

VILMAR NUNES DE SOUSA

BRASÍLIA

2021

VILMAR NUNES DE SOUSA

**DETERMINISMO BIOLÓGICO ENTRE PROFESSORES DO
ENSINO MÉDIO CURSISTAS DO MESTRADO PROFISSIONAL
PROFBIO DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

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

Área de concentração: Ensino de Biologia

Macroprojeto 7 – Novas práticas e estratégias pedagógicas para o ensino de Biologia

Linha de pesquisa: Comunicação, Ensino e Aprendizagem em Biologia

Orientadora: Profa. Dra. Nilda Maria Diniz Rojas

BRASÍLIA

2021

FOLHA DE APROVAÇÃO



VILMAR NUNES DE SOUSA

DETERMINISMO BIOLÓGICO ENTRE PROFESSORES DO ENSINO MÉDIO CURSISTAS DO MESTRADO PROFISSIONAL PROFBIO DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

Trabalho de Conclusão de Mestrado - TCM apresentado e submetido às avaliadoras no Mestrado Profissional em Ensino de Biologia em Rede Nacional- PROFBIO, do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade de Brasília - UnB, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ensino de Biologia, no dia 30 de novembro de 2020.



Orientadora: Profa. Dra. Nilda Maria Diniz Rojas


Membro titular: Profa. Dra. Cintia Coelho
Membro titular: Profa. Dra. Alice Ribeiro

BRASÍLIA

2021

NN972d Nunes de Sousa, Vilmar
DETERMINISMO BIOLÓGICO ENTRE PROFESSORES DO ENSINO MÉDIO
CURSISTAS DO MESTRADO PROFISSIONAL PROFBIO DA UNIVERSIDADE
DE BRASÍLIA / Vilmar Nunes de Sousa; orientador Nilda
Diniz Rojas. -- Brasília, 2021.
97 p.

Dissertação (Mestrado - Mestrado Profissional em Ensino
de Biologia) -- Universidade de Brasília, 2021.

1. Ensino de Biologia . 2. Ensino médio . I. Diniz
Rojas, Nilda, orient. II. Título.

RELATO DE MESTRANDO

Em 2014 eu concluí a minha licenciatura plena em Ciências Biológicas na Universidade Federal do Piauí (UFPI). Atuei como professor temporário na secretaria de educação do estado do Piauí (SEDUC-PI) durante os dois últimos anos da minha graduação. Ao me formar, prestei concurso para professor da secretaria de educação do distrito federal (SEEDF) e para a SEDUC-PI. Tendo sido aprovado nos dois concursos, tive que tomara dolorosa decisão de ir embora do meu estado devido às péssimas condições salariais dos professores de educação básica daquele estado. Optei pelo distrito federal onde atuo como professor da educação básica até hoje. Sempre tive o sonho de realizar um mestrado na minha área, como professor de educação básica, e quando surgiu a oportunidade em 2017 ingressei no Profbio na universidade de Brasília (UnB). Para seguir no mestrado conciliei minhas 40h como professor da SEE e as atividades do Profbio. O contato com professores de outros estados e com os professores da universidade de Brasília foi extremamente produtivo para mim e para minha vida profissional e pessoal, a troca de experiências e os desafios do mestrado foram uma fonte de novas ideias e possibilidades na minha prática como professor. Ao ser informado pelo coordenador da escola em que trabalho de que eu tinha que desenvolver dentro do conteúdo de biologia, paralelamente às aulas, eu trabalhava no momento com turmas do 3 ano o tema Genética, debates e alguns trabalhos interdisciplinares que contribuíssem para a semana de trabalhos sobre o dia internacional da mulher que se aproximava, me veio a necessidade de pesquisar meios para fazer esta ponte interdisciplinar entre a biologia e temas relacionados ao cotidiano dos alunos. Apesar de eu já conhecer o tema, eu não tinha os conhecimentos necessários para evitar possíveis posturas e abordagens de conteúdo que pudesse transmitir aos alunos uma visão determinista da biologia. Pensei que pudesse ser importante sim abordar um tema tão negligenciado no ensino médio e até mesmo no ensino de biologia do ensino superior. Assim resolvi trabalhar como o determinismo biológico. Infelizmente, devido à alta carga de trabalho como professor quarenta horas somada as atividades do mestrado tive sérias complicações de saúde sendo aconselhado por meu médico a abandonar o mestrado.

Agradeço profundamente ao Profbio à UnB e a CAPES por essa oportunidade dada a mim e a outros professores da educação básica de aperfeiçoarem a sua formação. Não tenho palavras suficiente para agradecer aos professores deste programa pelo trabalho de excelência que ofereceram a mim e a meus colegas deste programa. Espero que a educação básica siga recebendo este tipo de atenção, pois precisamos muito.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me dado forças para seguir em frente. Gostaria de agradecer a todos os meus colegas da turma de 2017 do PROFBIO na universidade de Brasília (UnB), que se mantiveram confiantes e solidários apesar das dificuldades que enfrentamos. Meus mais sinceros agradecimentos à minha orientadora, Dra. Nilda Maria Diniz Rojas, por ter me incentivado nos momentos em que pensei em desistir. Meus mais sinceros agradecimentos a todos os professores do PROFBIO que nos possibilitaram experiências e aprendizados que levarei para minha vida inteira. Agradeço de modo especial a minha filha, Sofia, e a minha esposa, Vanessa, por serem o meu apoio e fonte de motivação diária.

AGRADECIMENTO À CAPES

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

**ANÁLISE DO DETERMINISMO BIOLÓGICO ENTRE
PROFESSORES DO ENSINO MÉDIO PARTICIPANTES DO
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE BIOLOGIA NA
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UnB**

Resumo

O Determinismo Biológico é um tema que, embora não esteja explicitamente nos currículos de Biologia do Ensino Médio, permeia alguns conteúdos e pode ser abordado especialmente na Genética, por exemplo, limitando negativamente a compreensão da genética e do desenvolvimento de fenótipos das espécies. O objetivo deste trabalho foi o de refletir acerca do nível de entendimento e da prática de professores de Ensino Médio do PROFBIO-UnB sobre o tema Determinismo Biológico. As reflexões se basearam nos relatos dos professores acerca do tema. A dificuldade em se definir o Determinismo Biológico nos levou a pensar que os professores parecem priorizar conteúdos que não evidenciam a complexidade da Genética e dos sistemas biológicos, o que pode contribuir de certa forma para uma visão determinista da Biologia em geral. Pensamos que os constantes avanços da Genética devem ser discutidos e atualizados entre professores no Ensino Médio, de modo que propomos, ao final, um material didático para professores, o qual é focado na estimulação de questionamentos e discussões acerca do Determinismo Biológico, pretendo, assim, contribuir para uma visão mais crítica acerca da natureza das ciências biológicas. Este material poderia ser utilizado por professores com seus alunos do Ensino Médio.

Palavras-chave: Determinismo Biológico, Ensino de Genética, Ensino Médio.

**ANALYSIS OF THE BIOLOGICAL DETERMINISM AMONG
HIGH SCHOOL TEACHERS PARTICIPATING THE
PROFESSIONAL MASTER IN BIOLOGY TEACHING AT THE
UNIVERSITY OF BRASÍLIA - UnB**

Abstract

Biological Determinism is a topic that, although not explicitly in the Biology curricula of High School, permeates some contents and can be approached especially in Genetics, for example, negatively limiting the understanding of genetics and the development of phenotypes of species. The objective of this work was to reflect on the level of understanding and practice of High School teachers at PROFBIO-UnB on the topic of Biological Determinism. The reflections were based on the teachers' reports on the subject. Difficulty in defining Biological Determinism led us to think that teachers seem to prioritize content that does not show the complexity of Genetics and biological systems, which may contribute in a way to a deterministic view of Biology in general. We think that the constant advances in Genetics should be discussed and updated among teachers in High School, so we propose, in the end, a didactic material for teachers, which is focused on stimulating questions and discussions about Biological Determinism. We intend, therefore, to contribute to a more critical view of the nature of the biological sciences. This material could be used by teachers with their High School students.

Keywords: Biological Determinism, Teaching Genetics, High School.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Processo de produção de proteína a partir da informação codificada no DNA	20
Figura 2 - Estrutura básica do Operon	22
Figura 3 - Representação do Operon Lac ativo	23
Figura 4 - Modelo geral do processamento alternativo do RNA.....	24

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
1.1	Determinismo Biológico e Determinismo Genético, uma breve análise histórica.....	13
1.2	Avanços na Genética que enfraquecem a visão determinista	17
1.3	A Sociobiologia e o Determinismo Genético.....	26
1.4	Determinismo Biológico e as questões de gênero	33
2	OBJETIVOS	40
2.1	Objetivo geral.....	40
2.2	Objetivos específicos	40
3	METODOLOGIA DA INVESTIGAÇÃO E DAS REFLEXÕES	40
4	REFLEXÕES E DISCUSSÃO	41
4.1	Dos conteúdos de genética mais trabalhados pelos professores.....	41
4.2	Dos fatores não genéticos que atuam no fenótipo.....	42
4.3	definição de Determinismo Biológico ou Genético.....	44
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	46
6	REFERÊNCIAS	48
7	PRODUTO EDUCACIONAL DO TCM	52
8	APÊNDICE.....	93

1 INTRODUÇÃO

Temas que permeiam importantes questões sociais tais como sexualidade, inteligência, criminalidade, são frequentemente vistos como geneticamente determinados (WINTHER, 2001). No entendimento dos conteúdos de Biologia, em especial a genética, é imprescindível a compreensão do caráter complexo dos sistemas biológicos e sua relação dinâmica com o ambiente. Este conhecimento é imprescindível para o estudante pensar, planejar, executar e avaliar ações de intervenção na realidade natural de forma consciente e crítica.

Tomamos como tema desta pesquisa “o determinismo biológico entre professores de Biologia do ensino médio”, pois, diante dos avanços dos estudos em Biologia, em especial em Genética, é necessário ser capaz de lidar com as implicações sociais das novas descobertas também no ensino médio, bem como usarmos esses conhecimentos de forma a desenvolver as relações entre a produção científica e o contexto social em que vive o aluno, contribuindo para a necessária visão holística que deve pautar o ensino de Biologia (BRASIL, 2000).

As ciências da natureza são separadas das demais áreas do saber como um conjunto de disciplinas destinadas a conhecer os fenômenos naturais. Além da utilização do método e do raciocínio científico como prática. A Biologia é agrupada junto às chamadas ciências da natureza, Matemática, Física, Química, nos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM). Entre as habilidades e competências, os PCNEM (2000) orientam sobre a importância do desenvolvimento da capacidade do aluno em perceber o caráter aleatório e não determinístico dos fenômenos naturais. O professor em geral está imerso no desafio de contextualizar os conceitos básicos do pensamento biológico, de forma que os alunos possam integrar os conceitos de Biologia a conceitos de outras disciplinas para melhor pensar a realidade do mundo natural e social (BRASIL, 2000). Assim, a percepção e olhar crítico sobre as abordagens deterministas deveriam ser ministradas, nestes aspectos, em especial na disciplina Biologia.

Apesar de fazer uso dos princípios das demais ciências da natureza, a Biologia se destaca por diversos motivos destas ciências. Essas diferenças essenciais merecem destaque pois as leis e conceitos precisos da Matemática, da Química e da Física são

insuficientes para descrever os fenômenos biológicos que, apesar de dependerem da física e da química, não se reduzem a eles. Os aspectos singulares da Biologia tornam os fenômenos biológicos ainda mais indeterminados e expostos ao acaso e à aleatoriedade o que torna inadequadas as interpretações determinísticas da Biologia, tão pouco a aplicação do determinismo biológico à fenômenos sociais. Uma das diferenças que torna a Biologia ainda mais desprovida de leis deterministas, e que a diferencia das demais ciências exatas que compõem as ciências da natureza é a sua fundamentação em conceitos e não em leis (MAYR, 2005). Os processos complexos do desenvolvimento dos sistemas vivos trazem consigo um forte fator de aleatoriedade e acaso, o que torna a Biologia uma ciência em que as abordagens deterministas e reducionistas podem prejudicar um entendimento da Natureza como um todo complexo, integrado e dinâmico.

Os desafios no ensino de Genética envolvem tornar claro para os estudantes conceitos complexos de genética sem adotar as simplificações que possam passar uma visão equivocada de que o patrimônio genético é o único fator responsável pelo desenvolvimento de todas as características dos seres vivos. E ter consciência da complexidade dos mecanismos de desenvolvimento de sistemas biológicos, como a genética, é importante e necessário para avançarmos para um novo paradigma além dos conceitos já consolidados e inicialmente decorrentes da descoberta da estrutura do DNA (KELLER, 2002). Portanto, a atualização dos conceitos baseados nas novas descobertas da pesquisa científica é de extrema importância para o ensino de Biologia também no ensino médio. As descobertas sobre os mecanismos de expressão genética têm se mostrado bem mais complexos com as descobertas que desafiam os modelos tradicionais, apresentando uma característica mais complexa e não determinista da expressão gênica. A necessidade de reformulação e atualização dos conceitos se faz necessária, principalmente em uma área que tem importância fundamental em questões que se refletem em ações sociais, como a genética.

A presente proposta teve como objetivo investigar o entendimento de questões relevantes para o ensino de Biologia entre professores de Biologia do ensino médio. Tendo como tema principal o determinismo biológico ou genético, as questões apresentadas aos professores durante esta pesquisa abordam temas de genética como gene, epigenética e temas de genética que destacam a complexidade da expressão

gênica e a relação dinâmica e de interação recíproca entre material genético e demais elementos da célula e do meio extracelular que podem contribuir para uma visão mais completa dos sistemas biológicos. As simplificações didáticas e a comodidade de modelos e conceitos simplificados da expressão gênica podem contribuir para uma compreensão inicial dos mecanismos genéticos, mas, com a devida apresentação dos fenótipos como decorrentes de uma complexa rede de mecanismos genéticos e ambientais que não são determinados previamente por genes ou outras estruturas celulares, mas, sim por uma rede complexa de interação de todos esses componentes em um processo dinâmico e controlado, mas não determinado.

1.1 Determinismo Biológico e Determinismo Genético, uma breve análise histórica

O determinismo biológico não é algo que existe objetivamente, como componente no desenvolvimento dos sistemas biológicos. Existe apenas como ideia que é aplicada aos seres vivos e que não corresponde ao que realmente ocorre no desenvolvimento dos seres vivos, pois desconsidera os fatores ambientais e toda a dinâmica do ambiente interno da célula em interação com os genes e produtos gênicos. As ideias deterministas em Biologia tiveram motivação que não encontram respaldo na própria Biologia, seriam, na sua origem, motivações apenas subjetivas que buscavam a justificação de fenômenos sociais por meio da ciência, sendo, portanto, considerado uma ideologia científica (LEWONTIN, 2010; GOULD, 2014).

Gould (2014) ainda fixa a origem do determinismo biológico no início mesmo da civilização ocidental no pensamento e na estrutura da filosofia do filósofo grego Platão (348/347 - 348/347 a. C) pois, sendo a base do pensamento de Platão as essências (ideias), e sendo essas ideias imutáveis e determinantes de todos os seres vivos, estaria aí a origem de seres vivos previamente determinados. Esta ideia de seres essencialmente determinados e imutáveis impossibilita a ideia de evolução biológica e surgimento de novas espécies e viria a ser questionada e enfraquecida no século XIX com o advento da teoria da evolução biológica.

A mesma visão determinista estava em Aristóteles (385 a. C - 323 a. C) um outro importante filósofo clássico que veio a influenciar a cultura e o pensamento científico ocidental. A visão determinista de Aristóteles se fundamenta na sua ideia de causas, em especial uma delas, a causa formal. Para Aristóteles todos os seres vivos

possuem uma causa formal que os determina, e essa forma essencial é imutável, como as ideias de Platão. Mas as formas aristotélicas se diferenciam das ideias platônicas por existirem apenas nos seres vivos enquanto tal e não em mundo transcendental como as ideias de Platão, assim, teriam um aspecto imanente e não transcendente. As formas aristotélicas que determinam as forma dos organismos seria o equivalente hoje ao DNA, como comparou (BERTI, 2015, p. 146). Desta forma, a ideia de determinismo nas ciências se origina como postulados metafísicos e transcendentais componentes das poderosas e influente filosofias platônicas e aristotélicas (MORIN, 2005).

No século XX os organismos são vistos como seres determinados por fatores internos, os seus genes, e conhecer o ser humano dependia agora da decifração do código genético. O determinismo biológico se apoiaria na crença dos genes como determinantes dos fenótipos na esteira dos avanços da genética molecular e do importante projeto genoma humano (PGH). O projeto genoma humano foi fortemente disseminado pela mídia alimentando um determinismo genético, ou seja, uma crença nos genes como causa principal dos fenótipos, ou ainda, o mapa que diz quem somos (KELLER, 2000).

Ernst Mayr definiu o determinismo biológico como uma extensão do determinismo da física Newtoniana, determinismo esse que seria rejeitado na Biologia moderna pela teoria da seleção natural e seu foco no acaso e na variação (MAYR, 2005).

Segundo Mayr “por todo o século XIX, os cientistas físicos ainda eram deterministas em sua visão, e um processo tão indeterminado quanto a seleção natural era inaceitável para eles” (MAYER, 2005, p.129).

De fato, o determinismo se consolida na física com os herdeiros do pensamento Newtoniano como Pierre-Simon Laplace. Para Laplace, “se o estado do universo pudesse ser descrito, junto como todas as leis relevantes, todos os futuros estados poderiam, em princípio, serem calculados” (MURPHY, 2014, p.310). Essa visão determinista que vinha da física seria logo em seguida adotada por Claude Bernard, o fisiologista, e Henri Poincaré, matemático e físico, sendo eles os principais cientistas franceses a difundir um pensamento determinista na ciência no último terço do século XIX, determinismo esse que seria adotado como modelo também na Biologia (PATY, 2004). As causas imediatas dos fenômenos, as quais não são senão as condições desses últimos, escreve por exemplo Claude Bernard, “são suscetíveis de um determinismo tão rigoroso nas ciências dos corpos vivos quanto nas ciências dos corpos brutos” (PATY,

2004, p. 11). O determinismo da física seria o modelo a ser seguido, e com a genética as possibilidades de aproximação entre o rigor determinista da Física com a Biologia se torna ainda mais possível.

Poincaré expressou sua visão determinista da ciência da seguinte forma:

A ciência é determinista, ela o é a priori; ela postula o determinismo, porque ela não poderia existir sem ele. Ela o é também a posteriori; se ela começou por postulá-lo como uma condição indispensável de sua existência, ela o demonstra a seguir precisamente por existir, e cada uma dessas conquistas é uma vitória do determinismo (POINCARÉ, 1913, CAP. 8 APUD PATY, P. 11, 2004).

O determinismo biológico é a ideia de que fenótipos, como as características comportamentais humanas, são determinados na concepção por fatores hereditários que seriam passados de pais para filhos, ou, dito de outra forma, com uma aplicação mais ampla, a tendência de ver os fenômenos sociais humanos como resultado de causas biológicas, atribuindo apenas importância secundária a fatores ambientais, sejam eles físicos, naturais ou sociais (ELLISON; DE WET, 2018).

As abordagens deterministas, mesmo as de tendência mais reducionista, focada nos genes, pode ter implicações sociais amplas e importantes, daí a importância da crítica ao determinismo mesmo no ensino de genética. Antes das descobertas dos trabalhos sobre a hereditariedade realizados por Mendel acreditava-se que uma grande quantidade de fatores ambientais influenciaria as características hereditárias, pensava-se que fatores ambientais agiam diretamente nas células afetando as características dos seres vivos. Esta visão do ambiente como agente participante na formação e desenvolvimento dos seres vivos impossibilitava a fixação de uma visão determinista na Biologia, tal como era o determinismo na física (ALLEN, 2018). Não havia ainda um ponto onde a visão determinista se fixar e reivindicar um determinismo forte, como surgiria depois com a localização do gene como estrutura real e localizada nos cromossomos e que se reforçaria logo depois com a genética molecular e a passagem de uma ideia abstrata e instrumental de fatores determinantes de características a algo concreto como no DNA.

Depois da redescoberta dos trabalhos de Mendel o determinismo biológico passou a ser formulado cada vez mais em termos da nova ciência que nascia e se consolidava, a genética. Assim, o determinismo biológico tornou-se sinônimo de

determinismo genético, mas sendo este mais associado ao século XX e aos avanços e esperanças depositados no projeto genoma humanos.

Os avanços da genética nos forneceram fortes argumentos e evidências contra o determinismo biológico. Os anúncios da descoberta da estrutura do DNA por D. Watson e Francis Crick mostraram que as unidades de transmissão não eram apenas reais, mas apresentava um mecanismo de armazenamento e transmissão de características surpreendentemente simples. A aparente simplicidade da formação dos fenótipos expresso no dogma central viria a ser confrontada ainda em 1959 com a introdução da distinção entre genes estruturais e genes reguladores por François Jacob e Jacques Monod (KELLER, 2002). Podemos citar também os elementos regulatórios entre éxons e íntrons, processamento alternativo do RNA, ou *splicing* alternativo, que se acumulam como descobertas que evidenciam o caráter complexo e indeterminado da formação dos fenótipos (GERSTEIN; BRUCE; ROZOWSKY; ZHENG et al., 2007). Contudo, apesar dos avanços no entendimento acerca da formação dos fenótipos, ainda prevalece uma concepção de genética baseada nas formulações de Mendel, o que contribui para uma visão determinista da Biologia (JAMIESON e RADICK, 2017).

Definições de Determinismo Genético tendem a aparecer de formas variadas. A versão que prospera notavelmente na cultura popular, proclama que os genes por si só determinam os traços e o comportamento dos organismos vivos, incluindo os humanos. Na literatura científica, entretanto, podemos encontrar manifestações mais moderadas do Determinismo Genético ressaltando que, embora os genes determinem a vida humana, eles o fazem em estreita interação com fatores ambientais (RESNIK e VORHAUS, 2006). Gould (2014) fez uma crítica à visão determinista usada para justificar visões políticas e preconceitos sociais, e criticou a aplicação dos conceitos e princípios da Biologia às sociedades humanas, uma aplicação tendenciosa do darwinismo e da genética à sociedade. Segundo Gould, o argumento do determinismo fora utilizado ao longo da história para justificar privilégios de grupos sociais e condições de desigualdade.

Explicar a genética a partir do ponto de vista que sustenta que os seres vivos devem ser de uma forma e não de outra, pois seriam determinados geneticamente a ser assim, seria adotarmos uma visão determinista que poderia se refletir em atitudes sociais prejudiciais. A compreensão adequada dos conceitos de genótipo e de fenótipo, e como

esses conceitos se relacionam, pode gerar reflexões e conclusões mais ponderadas sobre questões sociais muito importantes, bem como sobre o que significa ser humano (SCOTT, 2013).

Os genes e outros fatores biológicos produzem organismos, mas eles não os determinam. Não se trata de negar os fatores genéticos que nos formam, assim como todos os seres vivos, mas, trata-se de não incorrer na interpretação do Determinismo Genético, o que significa ignorar toda a complexidade existente nos sistemas biológicos e a relação com os fatores do ambiente.

1.2 Avanços na genética que enfraquecem a visão determinista

Neste tópico faremos uma exposição de quatro marcos importantes na evolução da compreensão de como as características dos seres vivos se formam. Os trabalhos de Mendel publicados em 1865 e redescobertos em 1900, a descoberta da estrutura do ácido desoxirribonucleico em 1953 por James Watson e Francis Crick, a distinção entre genes estruturais e genes reguladores com a proposta do modelo do Operon por François Jacob e Jacques Monod em 1959, além do mecanismo de splicing alternativo. Todo esse avanço no conhecimento sobre o processo de formação dos fenótipos foi responsável pela formação de uma ideia determinista que vê o gene como causa direta de uma característica. Mas, essa mesma sequência histórica de descobertas, foi responsável pelo enfraquecimento dessa visão determinista da Biologia, com as descobertas que evidenciaram o caráter complexo e indeterminado da formação dos fenótipos.

Diante de toda a complexidade que se colocava a quem buscasse explicar os mecanismos de transmissão hereditárias das características nos seres vivos, o modelo conceitual adotado por Mendel trouxe a possibilidade de simplificar o processo de análise das características entre as gerações. O modelo matemático adotado por Mendel ainda é a base da genética moderna. É este modelo binário adotado por Mendel possibilita os cálculos de probabilidades em genética e constitui importante ferramentas em áreas da Biologia como em genética de populações. Ainda hoje “As frequências mendelianas, com as quais genes diploides pareados segregam em gametas haploides e gametas de diferentes indivíduos combinam-se aleatoriamente, são a base de toda a teoria de genética de populações” (RIDLEY, 2009, p.61). A redescoberta dos trabalhos

de Mendel, em 1900, teve um impacto nas ideias sobre hereditariedade e no pensamento evolutivo, que até então, não tinha explicação para a origem das variações. A ideia de que a evolução agia sobre o indivíduo foi confrontada com a ideia de que a evolução age sobre as partículas hereditárias, pois seriam essas as determinantes das características selecionadas pelo ambiente.

O que caracteriza a hereditariedade é justamente sua complexidade, mas a abordagem de Mendel, que buscava simplificar a observação limitando o número de caracteres estudados por vez, abriu o caminho para o entendimento do mecanismo de transmissão dos caracteres entre as gerações. A contagem dos caracteres dos seres vivos, no caso de Mendel a *Pisum sativum*, agora delimitados, forneciam números que poderiam ser submetidos à uma análise estatística, abordagem teórica que vinha complementar a abordagem prática dos agricultores que buscavam compreender o mesmo mecanismo na época de Mendel.

As partículas binárias introduzidas por Mendel permite uma representação matemática simbólica dos caracteres. Caracteres dominantes 'A' e caracteres recessivos 'a', além dos híbridos onde os dois caracteres estão unidos 'Aa'. Isso possibilitou uma explicação matemática simples da transmissão das características com importantes implicações para os estudos seguintes em genética e para Evolução. E as séries "A + Aa + a", dará os termos para os estudos de uma característica do organismo vivo, ou seja, da manifestação dos caracteres puros e dos híbridos para uma determinada característica na população (MENDEL, 1865). Com Mendel os fenômenos da biologia ganham subitamente o rigor matemático.

A força desse modelo matemático explicativo trouxe importantes avanços, mas a confusão entre o modelo de pesquisa adotado por Mendel e a realidade objetiva complexa da expressão gênica, que se revelará posteriormente, se torna um obstáculo na compreensão da expressão gênica e formação dos fenótipos. Considerando as novas descobertas e a literatura atual podemos constatar que nem mesmo as heranças monogênicas simples são explicadas apenas com a utilização do padrão de herança mendeliano (KLAUTAU-GUIMARÃES et al., 2014). O tratamento estatístico e o rigor matemático possíveis devido a uma representação simbólica da genética mendeliana, impõe à hereditariedade um rigor interno que implica um determinismo semelhante ao determinismo da física (JACOB, 2001). A ideia determinista em uma relação direta genótipo-fenótipo não representa os processos reais que ocorrem no desenvolvimento

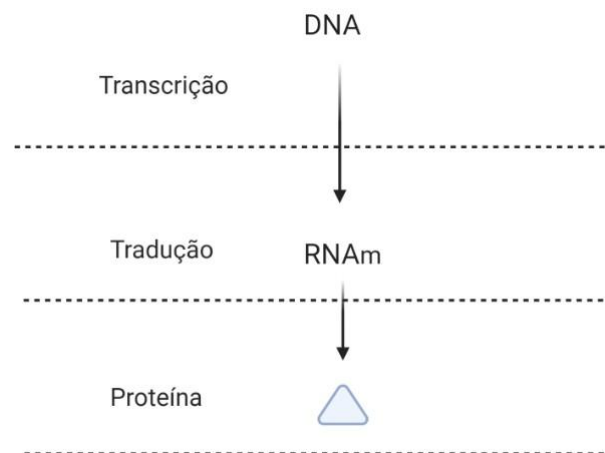
dos sistemas biológicos. A inclusão das descobertas seguintes e a evolução dos modelos de pesquisa adotados ao longo da história da genética é fundamental na compreensão adequada da genética.

Dupla hélice

O modelo para a estrutura molecular do ácido desoxirribonucleico proposto por Watson e Crick em 1953, e que representa um marco da biologia molecular, apresenta mecanismo de armazenamento da informação hereditária. Informação essa que resultara na característica expressa no indivíduo. Este modelo, já amplamente conhecido, consiste em uma dupla cadeia em forma de hélice em torno de um mesmo eixo central. As unidades constituintes da molécula são as bases nitrogenadas (adenina, guanina, citosina e timina) que ficam voltadas para o interior da molécula, e os grupos fosfatos que ficam voltados para o exterior da molécula. Os grupos fosfatos ficam nas posições 3', 5' da molécula de desoxirribose de cada fita da dupla cadeia. Cada fita da molécula de DNA está de cabeça para baixo uma em relação à outra fita. verifica-se que na molécula de DNA apenas pares específicos de bases podem ligar-se em conjunto (WATSON; CRICK, 1953a). Estes pares são: adenina (purina) com timina (pirimidina), e guanina (purina) com citosina (pirimidina). Esta especificidade no pareamento das bases possibilita o mecanismo de cópia do material genético e sua posterior replicação e transmissão destas cópias. Está implícito na estrutura apresentada da dupla hélice tanto o mecanismo de codificação da informação como do mecanismo de duplicação do DNA, hipótese levantada por Watson e Crick em artigo posterior (WATSON; CRICK, 1953b).

O desenvolvimento desta ideia culminou na base da biologia molecular que posteriormente ficou conhecido como dogma central da biologia. A simplicidade do processo é um forte argumento para o determinismo genético, pois a relação causal entre gene e o seu produto correspondente, proteína, como um segmento de DNA determinando uma característica do indivíduo, é uma implicação que decorre naturalmente dessa importante descoberta. Aqui o gene é o principal determinante causal dos fenótipos em uma sucessão linear.

Figura 1 - Processo de produção de proteína a partir da informação codificada no DNA



Fonte: Elaborada pelo autor com BioRender.com (2020)

Com a descoberta da localização dos genes, sua constituição, e agora a sua estrutura, com o modelo proposto por Watson e Crick em 1953, o conceito de gene como unidade se consolidou, não mais como uma unidade abstrata, mas como unidade material com local e composição química conhecida. Os termos vagos de materialidade e de explicações concretas, como expressão gênica, estavam cada vez mais claros e o protagonismo dos genes se consolidava como algo concreto. O conceito de gene permanece claro como um *locus* fixo com o poder de determinar uma característica, mas agora acrescido dos conhecimentos fornecidos pela genética molecular.

A crença na molécula de DNA como determinante direto das características não seria mais apropriada que um componente essencial de uma rede de muitos fatores que atuam juntos entre si e como o meio. A abordagem reducionista trouxe muitos avanços para a biologia, principalmente à biologia molecular. Mas uma característica que difere a biologia das demais ciências, como a Química, o surgimento de propriedades emergentes, limita a abordagem reducionista em biologia. O reducionismo genético é insuficiente para a compreensão da formação dos fenótipos. Os detalhes do processo de desenvolvimento de uma característica são tão importantes na compreensão desse processo quanto o esquema explicativo geral. A simplicidade revelada pela biologia molecular sugere uma precisão matemática na atividade dos genes e as implicações deterministas seriam inevitáveis. É importante perceber que o percurso histórico de descobertas sobre o DNA não leva a um conhecimento decisivo dos mecanismos da

vida, que têm no DNA apenas um importante componente. Como apontou Dina Czeresnia: “O conhecimento da estrutura do DNA, por exemplo, abriu caminho para descrever processos de conservação, reprodução e transformação dos seres vivos, mas essa descrição não foi suficiente para desvendá-los” (CZERESNIA, 2012, p. 119). O determinismo genético decorrente das descobertas iniciais da biologia molecular e sua simplicidade aparente seria desafiado pelas descobertas seguintes sobre o mecanismo de expressão gênica.

Operon

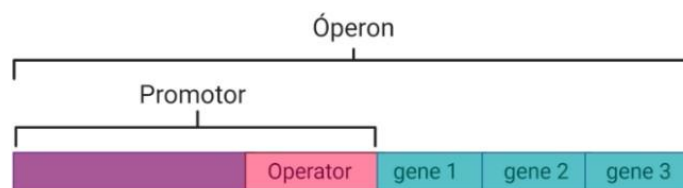
Os primeiros indícios da não linearidades da formação de fenótipos e de uma complexidade sujeita a muitos fatores veio com os estudos realizados por François Jacob e Jacques Monod que resultaram na descoberta do sistema Operon. A descoberta do Operon revelou o caráter dinâmico do mecanismo de expressão gênica e todas as possibilidades de mudança e regulação da expressão dos fenótipos por meio de mecanismos já existentes nos genótipos, o que possibilita uma complexa interação e adaptação ao meio intra e extracelular. A simples visão determinista e linear da expressão gênica é desafiada com as descobertas iniciadas por Jacob e Monod. A distinção entre genes estruturais e genes reguladores introduzida por esses dois pesquisadores desafiava a simplicidade do dogma central e sua simples linearidade. Os trabalhos de Jacob e Monod mostravam os genes atuando, não apenas na codificação da mensagem genética, mas também atuando no controle de outros genes, além de condicionar esse controle às alterações do meio em que a célula se encontra.

Jacob e Monod trabalharam com um Operon encontrado no genoma bacteriano, a bactéria *Escherichia coli*, o Óperon Lac. Estes experimentos com *E. coli* foram realizados em 1961 por Jacob e Monod e culminaram na definição do Operon por esses autores. Eles descreveram o mecanismo básico de funcionamento do sistema Óperon Lac. O Operon Lac é um exemplo de grupo de genes que é regulado por um outro gene regulador externo. A *E. coli* utiliza a lactose como fonte de energia na ausência de glicose, mas precisa decompor esses carboidratos. As enzimas necessárias a essa digestão são codificadas pelos genes que compõem o Operon lac (“lac”, refere-se à lactose). E é o mecanismo básico de controle realizado por bactérias para otimizar o seu metabolismo em resposta a alterações que ocorrem no meio circundante da célula

bacteriana. Hoje se sabe que existem muitos óperons que compõem o genoma bacteriano.

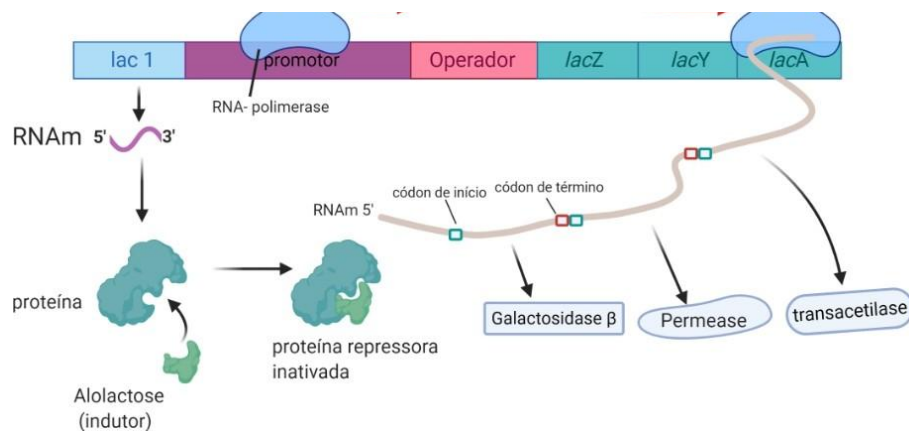
No Operon Lac há um único promotor, local onde se liga a RNA-polimerase e se inicia a transcrição, a partir dos três genes que compõe a unidade transcricional. O gene regulador, responsável por codificar a proteína responsável por regular o Óperon Lac, está localizado fora do Óperon. O Operon Lac é um Operon induzível, ou seja, ele permanece desligado pela ação da proteína repressora até que uma proteína específica (Alolactose) interage com a proteína repressora que regula o operador tornando-a inativa, promovendo assim a ativação do Óperon. O operador atua como um interruptor que liga e desliga o Operon. A Alolactose não atua diretamente no Óperon, ela age sobre a proteína inibidora do operador promovendo indiretamente a ativação do Óperon.

Figura 2 - Estrutura básica do Operon



Fonte: Elaborado pelo autor com BioRender.com

Como Monod observou em seus experimentos, em um meio contendo glicose e lactose como alimento, a *E. coli* metaboliza primeiramente toda a glicose, se alimentando da lactose apenas na falta de glicose. Para digerir a lactose em monossacarídeos assimiláveis o Operon lac da *E. coli* é ativado produzindo as enzimas Galactosidase β , Permease e Transacetilase. Estas enzimas são codificadas pelos genes *lacZ*, *lacY*, *lacA*. Esses são os três genes que compõem o Óperon Lac e que são ativados pelo gene regulador *lacI*. Em presença de lactose a Alolactose se liga à proteína indutora do operador tornando-a inativa, ativando assim a transcrição dos RNAm que atuam na síntese das enzimas necessárias ao metabolismo da lactose (REECE et al., 2015).

Figura 3 - Representação do Operon Lac ativo

Fonte: Elaborado pelo autor com BioRender.com baseado em Reece; Wasserman; Urry et al. (2015, p. 363)

A existência do Operon representa um aumento na eficiência metabólica da célula, melhor otimização de recursos e economia de energia. O mecanismo de ativação do Óperon evita a produção de enzimas catalíticas na ausência de alimentos a serem digeridos. Mas representa também o caráter complexo da expressão gênica, não linear e em relação dinâmica com o meio circundante da célula e com os próprios produtos gênicos.

As descobertas de Jacob e Monod não contradiz os modelos anteriores de representação da expressão genica, mas implica possibilidades de formação dos fenótipos a partir do DNA e aumenta as possibilidades explicativas de uma teoria genética que, até então, tinha dificuldades em explicar a imensa variedade de fenótipos. Desde que Jacob e Monod propuseram o modelo do Operon os biólogos moleculares descobriram uma grande variedade de elementos regulatórios de genoma, além de uma variedade de funções que distam da clássica visão do DNA com sequências de genes codificadores de proteínas (KELLER, 2002).

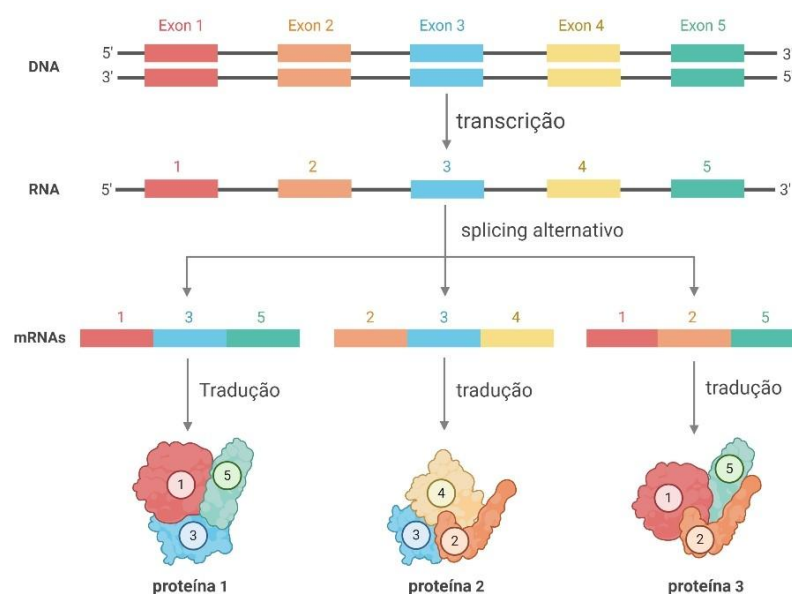
O splicing (Processamento)

É compreensível que, durante o processo de ensino de biologia, as muitas etapas que compõe o percurso entre o gene e a expressão final desse gene sejam ignoradas. Mas ter consciência de que estas etapas atuam nos processos de expressão genica é

fundamental na compreensão da genética. A dinâmica dessas etapas intermediárias e sua interação com fatores ambientais é um importante indicativo do caráter não determinista da Biologia. Um fenômeno que ocorre como etapa intermediária no processo de expressão gênica é o splicing alternativo, o qual mencionaremos como mais o processo representativo da complexidade da expressão gênica.

Em um splicing alternativo um RNAm transcrito, que é chamado de pré-RNAm, pode ser processado em mais de uma maneira para produzir vários RNAm que são traduzidos em diferentes sequências de aminoácidos que, portanto, resultarão diferentes proteínas. Nesse processo os éxons e íntrons de um único RNAm, transcrito a partir de um gene de forma alternativa, possibilita a expansão do número de proteínas que podem ser codificadas por um único gene. A *figura 4* representa um esquema geral que mostra o mecanismo de processamento de genes, mostrando o modelo simplificado do que acontece do DNA à proteína.

Figura 4 - Modelo geral do processamento alternativo do RNA



Fonte: Criada com BioRender.com¹

¹ Imagem utilizada como referência disponível em:

<<https://app.biorender.com/illustrations/edit/5fe2a0a9836e5300a6716ec5>> acessado em 30/12/2020

Esse mecanismo aumenta o repertório de possibilidades de produtos da expressão gênica. O splicing foi descoberto em 1977 e sua descoberta revelou a insuficiência dos modelos de gene que vigoravam. Como uma única sequência de bases no DNA poderia resultar em produtos variados, a ideia de que o gene determina uma única característica fora desafiada por essa descoberta (GERSTEIN et al., 2007). A predominância e importância do splicing alternativo para a célula focou ainda mais evidente com as descobertas resultantes do Projeto Genoma Humano (PGH) que revelou que o genoma humano possui bem menos genes do que se imaginava antes do mapeamento do genoma humano. No início do PGH, em 1990 se imaginava que o genoma humano possuía algo em torno de 100 Mil genes. Com os resultados do PGH, já em 2001 algumas previsões mais realistas atualizaram o número de genes para algo em torno de 30 mil genes (VENTER et al., 2001). O número de genes atualmente gira em torno de 23 mil espalhados em cerca de 3,2 bilhões de pares de bases que forma o genoma humano (PERTEA; SALZBERG, 2010). Apesar dos números se referirem à espécie humana, são números representativos das células em eucariontes. Estimativas mostram que mais de 90% de todos os genes humanos passam por splicing alternativo (PIERCE, 2012). Com frequência, a forma de splicing difere entre as células de diversos tecidos humanos; os tecidos do cérebro e do fígado humanos têm mais RNA com splicing alternativo em comparação com outros tecidos. A variação entre os tipos de splicing pode variar até mesmo de uma pessoa para outra, evidenciando a complexidade e possibilidades da expressão genica em eucariontes (PIERCE, 2012). O splicing alternativo desempenha um importante papel na expressão da complexidade dos seres vivo que, até então, seria dificilmente explicável tendo em vista a quantidade de genes disponível no genoma. A complexidade expressa por algumas espécies não se mostrou explicáveis por meio do número de genes que formam seu genoma. O grau de complexidade que separa o homem de um nematódeo não é proporcional ao número de genes dessas espécies como se pensava.

Portanto a complexidade das espécies, número elevado de fenótipos, dependem mais das fases intermediárias do processo de expressão gênica. Por exemplo, as moscas da fruta, *Drosophila melanogaster*, têm apenas cerca de 14.000 genes, enquanto um verme nematoide, *Caenorhabditis elegans*, anatomicamente mais simples têm 19.735 genes. Este número não dista tanto do número de genes do genoma humano, 23.333 genes (PIERCE, 2012). Com o splicing alternativo o número de proteínas que podem

ser produzidas a partir de um único gene pode chegar a centenas (KELLER, 2002). A inserção de bases nitrogenadas à sequência do RNAm também ocorre, resultando em uma maior variedade no resultado final, ou seja, no número de tipos de proteínas possíveis associadas à um único gene, destacando assim a importância dos detalhes intermediários do processo. Desta forma o Determinismo Genético perde força diante da rede complexa e dinâmica em que percorre a informação antes de sua expressão no fenótipo. Os genomas são mais dinâmicos e complexos do que mostra os primeiros modelos de expressão gênica, desta forma não faz sentido ensinar genética sem abordar essa complexidade, mesmo que para evitar conclusões equivocadas sobre a expressão gênica que podem levar à uma visão determinista sobre esse mecanismo.

Os avanços na genética desde Mendel foram significativos e numerosos, mas esses eventos que citamos acima é um demonstrativo de como o determinismo biológico e genético vem sendo cada vez mais sendo desafiado e confrontado com as novas evidências do caráter contingente e não determinado das redes de mecanismo genéticos que integrem entre si e com o ambiente, sempre sujeitos a mudanças de rota e adaptações às necessidades internas e externas das células e dos organismos. A riqueza de possibilidades na relação genótipo-fenótipo é evidente e necessária para o entendimento crítico da genética.

1.3 A Sociobiologia e o Determinismo Genético

Os defensores e cientistas adeptos da Sociobiologia consideram que a explicação evolucionista baseada no mecanismo de ação e fixação dos genes por seleção natural é central na explicação de aspectos da psicologia humana e de aspectos sociais, portanto, os sociobiologistas pretendem reformar os fundamentos das ciências sociais de modo à incluir as ciências sociais no processo de elaboração da Síntese Moderna da Biologia, que buscou conciliar os conhecimentos da Genética moderna com os princípios da Evolução Darwiniana. Esse objetivo fica evidente já no título do livro em que Edward. O. Wilson, principal representante desta abordagem, apresenta os princípios fundamentais da Sociobiologia: Sociobiologia: a nova síntese².

² Título original desta obra de Edward. O. Wilson é Sociobiology: The New Synthesis. Não há tradução do livro para o português.

Após definir a Sociobiologia Wilson aponta que a não inclusão da genética no estudo comportamental de populações humanas seria um erro, e que a inclusão da genética como ferramenta dos estudos comportamentais, não só de populações de invertebrados como insetos sociais, mas também populações de seres humanos, se faz necessário. Segundo Wilson:

Eu levantei um problema na filosofia ética para caracterizar a essência da Sociobiologia. Sociobiologia é definida como o estudo sistemático da base biológica de todo comportamento social. Mas a disciplina também se preocupa com o comportamento social do homem primitivo e as características adaptativas da organização nas sociedades humanas contemporâneas mais primitivas. Sociologia stricto sensu, o estudo das sociedades humanas em todos os níveis de complexidade ainda se destacam da Sociobiologia por causa de sua abordagem amplamente estruturalista e não-genética (WILSON, 1979, p.5, tradução nossa).³

A Sociobiologia é discutida como um exemplo extremo do programa adaptacionista. Este programa tenta descrever todos os aspectos dos organismos vivos como soluções ideais para os problemas estabelecidos pelo meio ambiente e pela biologia das espécies, mais especificamente os seus genes. A Sociobiologia primeiro descreve a natureza humana generalizando sobre os universais comportamentais humanos, depois afirma que essas características são controladas pelos genes e, em seguida, fornece uma história adaptativa para explicar por que os indivíduos com essas características deixariam mais filhos (LEWONTIN, 1979).

Wilson sempre trabalhou com comportamento social de invertebrados utilizando os princípios do Darwinismo, mas segundo o principal ponto que o conduziu do Darwinismo ortodoxo à sua nova interpretação da biologia evolucionista foi a introdução do conceito de altruísmo, de natureza genética como principal cimento das relações sociais (DE MEIRA PENNA, 2006).

De fato, Wilson afirma:

Como pode o altruísmo, que, por definição, reduz a aptidão pessoal, possivelmente evoluir pela seleção natural? A resposta é parentesco: se os genes que causam o altruísmo são compartilhados por dois organismos por causa de descendência comum, e se o ato altruísta de um organismo aumenta a articulação contribuição desses genes para a próxima geração, a propensão

³ I have raised a problem in ethical philosophy in order to characterize the essence of sociobiology. Sociobiology is defined as the systematic study of the biological basis of all social behavior. For the present it focuses on animal societies, their population structure, castes, and communication, together with all of the physiology underlying the social adaptations. But the discipline is also concerned with the social behavior of early man and the adaptive features of organization in the more primitive contemporary human societies. Sociology sensu stricto, the study of human societies at all levels of complexity, still stands apart from sociobiology because of its largely structuralist and nongenetic approach.

ao altruísmo se espalhará pelo pool genético (WILSON, 2000, p. 3, tradução nossa)⁴.

De fato, pelo exposto acima, o interesse de Wilson na explicação do altruísmo o levou a buscar a explicação para essas características, que está presente em todas as sociedades, inclusive humanas, na composição genética das populações. A abordagem reducionista de Wilson é centrada nos genes. Wilson mantém o reducionismo biológico como sendo o instrumento tradicional e indispensável da análise científica, que pode extrapolar seus resultados para níveis biológicos cada vez mais altos, inclusive aspectos culturais e comportamentais das populações humanas (ROSE, 1998).

O ambiente, quando se trata de seres humanos, torna-se mais complexo. Tendo em vista esta complexidade de relações Wilson propõem uma maior aproximação das humanidades, ou seja, o estudo das interações sociais humanas e as ciências biológicas como uma forma de elucidar o que nos é determinado geneticamente e o que nos é produto de interações entre os indivíduos e os elementos da cultura.

No contexto de uma sala de aula, onde há necessidade de uma contextualização dos conteúdos de Biologia à vida social do aluno, entendemos que o entrelaçamento entre disciplinas ao discutirmos os temas decorrentes dos novos conhecimentos nas áreas da Genética e Evolução Biológica, como o determinismo biológico e genético, pode exigir a discussão de alguns temas de disciplinas diferentes mas que se relacionam e carregam a mesma origem epistemológica, diferindo apenas quando os separamos em disciplinas diferentes. Trata-se de discutir conceitos em Biologia de forma que esses conteúdos estejam integrados ao contexto social. conteúdos atualizados e articulados de forma a desenvolver um aprendizado crítico, manter relações com as realidades sociais, socioculturais e psicológicas do aluno de modo a garantir o acesso ao conteúdo a partir de sua prática social (LIBÂNEO, 2014). Faz-se necessário percebermos e diferenciarmos essa necessidade de diálogo entre disciplinas de estudo e o uso da genética para explicar comportamentos sociais, o que o determinismo biológico e a Sociobiologia sugerem. As interpretações de fenômenos sociais baseadas nos determinismos genéticos, como na abordagem de Wilson, devem ser abordadas com um

⁴ how can altruism, which by definition reduces personal fitness, possibly evolve by natural selection? The answer is kinship: if the genes causing the altruism are shared by two organisms because of common descent, and if the altruistic act by one organism increases the joint contribution of these genes to the next generation, the propensity to altruism will spread through the gene pool.

olhar crítico para não cairmos em interpretações que estimulem racismos, discriminações e outras interpretações equivocadas, como resultado de um mal uso dos conhecimentos genéticos.

Para Wilson a chave para entender as sociedades humanas era o entendimento adequado da “Natureza humana” segundo (WILSON, 2013), “ uma definição clara da natureza humana é a chave para a compreensão da condição humana como um todo”. Apesar de alguns autores afirmarem ser inútil tentar encontrar uma natureza humana utilizando pressupostos da Biologia, pois os universais humanos, se é que existem, seriam produtos exclusivamente da cultura e não da genética (PINO, 2018). Wilson propõe uma explicação para a natureza humana a partir da relação entre genética e cultura, que se desenvolveram e se construíram ao longo do tempo a partir de uma espécie de “coevolução gene - cultura”. Quanto à relação entre a natureza humana e suas possíveis bases biológicas Wilson afirma:

O particular aglomerado de razão e emoção a que damos o nome de natureza humana foi apenas um dentre os diversos resultados concebíveis, um produto gerado autonomamente, o primeiro dentre os muitos que poderiam ter alcançado um cérebro e um sistema sensorial no nível de capacidade humano (WILSON, 2018, p.108).

Autores como Richard C. Lewontin, contrariamente às ideias de Wilson, afirma não haver relação entre genética e cultura, pois a partir do momento em que a espécie humana adquire a capacidade de cultura gerou-se uma condição específica da espécie humana em que a cultura é o único gerador das condições psicológicas e sociais da espécie. E o que definimos como natureza humana e que são fatores que possuem uma base genética, como por exemplo a capacidade de aprender uma linguagem, e outras variabilidades locais como de expressões emocionais e estruturas familiares, são características que não se manifestam de modo tão radical em outros animais. Segundo Pievani:

No caso da espécie humana, ainda que comumente biologia e cultura tenham dividido os respectivos domínios explicativos de modo complementar (à Biologia os invariantes, às Ciências Sociais a variabilidade), a evocação do genético ou do biológico pode visar tanto a justificação dos invariantes (“todos os seres humanos são agressivos porque a agressividade faz parte do nosso patrimônio genético de espécie”) como a explicação das diferenças (entendidas como “predisposições” naturais, por exemplo a ter um baixo quociente de inteligência). os genes unificam e ao mesmo tempo

discriminam, acompanhados de uma argumentação rotulada como “determinismo genético” (PIEVANI, 2010, p. 133).

Como já mencionado, ao enfatizar os fatores genéticos como determinantes das possibilidades de comportamento em animais, Segundo Wilson, as respostas emocionais humanas e as práticas éticas nelas baseadas foram programadas em grau substancial pela seleção natural através de milhares de gerações, portanto, ele defende que as descrições comportamentais devam se basear em dados genéticos que seriam produtos históricos da seleção natural, desta forma o Determinismo Genético é um dos fundamentos da Sociobiologia, ponto em que se concentram as principais críticas à Sociobiologia (DE MEIRA PENNA, 2006).

Temas que estão sempre presentes no senso comum, como o livre arbítrio, são amplamente discutidos fora da Biologia, em disciplinas das humanidades, mas, de acordo com Wilson (2018), a tarefa de compreender a humanidade é demasiado importante e intimidadora para ser deixada exclusivamente às humanidades. Suas diferentes ramificações em diferentes disciplinas das humanidades já descreveram as particularidades da natureza humana em várias perspectivas diferentes, combinações diferentes e com refinamentos de detalhes. Mas elas não explicam por que agimos de determinado modo e não de outro, por que temos uma determinada natureza e não outra dentre um vasto número de naturezas concebíveis. Nesse sentido, para termos uma visão mais ampliada da natureza humana temos que integrar a contribuição da Biologia às humanidades.

As questões que são quase sempre tratadas nos domínios de áreas das ciências humanas e das religiões, como questões sobre livre arbítrio e questões sobre moral deveriam, segundo a Sociobiologia, ser tratadas no âmbito da biologia evolutiva. Com nas implicações da abordagem determinista da Sociobiologia não existe muito espaço para o livre arbítrio, ou seja, a escolha consciente e livre seria algo que não se encaixa de modo algum nos pressupostos do determinismo biológico (DE MEIRA PENNA, 2006). E de fato como a mente individual não pode se descrever em sua totalidade, nem um pesquisador externo pode fazê-lo, o “eu” pode continuar acreditando ardentemente em sua independência e livre arbítrio, e essa é uma circunstância Darwiniana muito feliz (WILSON, 2018). Assim para Wilson a crença no livre arbítrio é uma adaptação darwiniana, ou seja, uma característica adaptativa, determinada geneticamente, que foi

selecionada e transmitida ao longo do tempo às populações humanas. Ainda sobre a questão do livre arbítrio, “a confiança no livre arbítrio é uma adaptação biológica. Sem ela, a mente consciente, no máximo uma janela escura e frágil para o mundo real seria amaldiçoada pelo fatalismo” (WILSON, 2018, p. 133). Vemos que, para Wilson, ações humanas estão intimamente relacionadas ao patrimônio genético fixado na espécie ao longo da evolução.

Ainda sobre as questões relacionadas as decisões humanas como algo determinadas ou não biologicamente Wilson deixa claro que:

Quanto mais os processos físicos da consciência foram definidos pela pesquisa científica, menos sobrou para qualquer fenômeno que possa ser intuitivamente rotulado como livre-arbítrio. Somos livres como seres independentes, mas nossas decisões não são livres de todos os processos orgânicos que criaram o cérebro e nossa mente. O livre-arbítrio, portanto, parece ser na verdade biológico (WILSON, 2013, p. 346).

Apesar de destacar que a busca pelo fenômeno físico da consciência não será algo simples, Wilson enfatiza a relevância do tema para a Biologia. Wilson destaca que relegar os temas relacionados à mente como o livre arbítrio e a consciência às disciplinas como a filosofia é um grave erro, e a inexistência deste tema entre os estudos em Biologia é inconcebível se quisermos avançar nessa área. Sobre o protagonismo da Biologia na compreensão da consciência Wilson nos diz:

Por 2 mil anos os filósofos deram duro para explicar a consciência. Bem, essa é a função deles. Desconhecendo a Biologia, contudo, é compreensível que não tenham chegado a lugar nenhum. não acredito que serei grosseiro se disser que a história da filosofia, resumida, consiste sobretudo em modelos falhos do cérebro humano (WILSON, 2018, p.126).

Os trabalhos de Wilson apontam para uma visão materialista da Biologia e aponta para a busca de respostas para comportamentos humanos não em fatores sociais apenas, mas, principalmente, em fatores biológicos, ou seja, no funcionamento físico do cérebro e sua base genética. Mas ele deixa claro que uma abordagem apenas genética seria insuficiente. As críticas à Sociobiologia de Wilson apontam para a impossibilidade de se chegar às respostas para questões relacionadas à consciências humana, tida como um elemento totalmente abstrato em áreas como a filosofia, por meio dos estudos da biologia do cérebro, visão está que para Wilson como visto acima, é totalmente equivocada. As ideias de Wilson são frequentemente ironizadas como sendo um apelo

ao determinismo biológico radical, como pelo médico psiquiatra inglês Anthony Daniels que, ao estudar comportamentos humanos como o vício em álcool e comportamentos antissociais como homicídios e outros crimes, critica a posição de Wilson:

As diferenças encontradas nos neurotransmissores ou no genoma não explicam isso (comportamentos e vícios humanos). e tentar analisar o comportamento humano com base nos genes e na química é igual ao ser humano a uma drosófila, a mosca-das-frutas favoritas dos geneticistas por ser de rápida reprodução e fácil manutenção (DANIELS, 2017, p.70).

As afirmações e descobertas da Sociobiologia se baseiam nos pressupostos da teoria da Evolução Biológica, apoiada pelas descobertas da Genética e da Biologia Molecular. E como uma teoria estritamente materialista, a Sociobiologia propõe explicar fenômenos ainda não explicados pelas ciências como a física, a química, bem como a matéria viva, a Biologia, utilizando generalizações a partir de conceitos da Biologia Evolutiva e da Genética. Mas, diante das lacunas no conhecimento que temos sobre os fenômenos biológicos, e de como emergem propriedades presentes nos organismos vivos que são inexistentes na matéria não viva, com a utilização de sistemas conceituais como os da biologia evolutiva, da genética e da matemática, corremos o risco de voltarmos a cometer os erros que cometemos no passado com os projetos eugenistas. Para Lewontin a Sociobiologia pode servir de argumento científico para se justificar de forma precipitada fenômenos sociais discriminatórios e compromissos ideológicos. Por baixo do corpo teórico da Sociobiologia estaria uma ideologia mais profunda que é a prioridade do individual sobre o coletivo. E apesar do nome, Sociobiologia, estaríamos lidando com uma teoria que não é de causa social, mas sim de causa individual, ou seja, possuem fundamentos subjetivos mesclados com dados científicos objetivos (LEWONTIN, 2010).

A proposta da Sociobiologia é fundamentar temas relacionados à ética na evolução biológica darwiniana e na genética. Os cientistas materialistas como Edward O. Wilson e Ernst Mayr propõem a ciência evolutiva como parâmetro para a moral. Segundo Mayr (2005, p.132) “a extraordinária estabilidade do paradigma darwiniano justifica que seja aceito tão amplamente como um fundamento legítimo para a filosofia da Biologia e, em particular, como base para a ética humana”. Não podemos deixar de notar aqui as mesmas motivações científicistas que buscavam fundamentar as aplicações

do determinismo biológico em questões sociais. Para Wilson, a Sociobiologia dá conta dos próprios aspectos religiosos com o princípio da seleção natural darwiniana agindo na estrutura material do cérebro humano em evolução. Para Wilson o naturalismo científico tem como objetivo explicar a religião como fenômeno completamente natural, que seria ela mesma uma competidora do naturalismo científico (WILSON, 1981). Também para Wilson, os textos sagrados das religiões seriam apenas tentativas de explicar as origens do ser humano e dar um significado para a existência em uma época pré-científica que já poderia ser superada. Para Wilson (2013, p.16): “O mito da criação é um dispositivo darwiniano para a sobrevivência. O conflito tribal, contrapondo os crentes de dentro e os infiéis de fora, foi uma importante força propulsora que moldou a natureza humana biológica”. Esta abordagem da Sociobiologia não se limita a explicar apenas os aspectos religiosos da cultura, mas, também, todo comportamento social.

1.4 Determinismo Biológico e as questões de gênero

A ênfase nos condicionantes culturais da sexualidade é em muitos aspectos atribuídos aos movimentos feministas dos anos 70, que se iniciaram bem antes. Estes movimentos lutavam contra o determinismo biológico que implicava na condição de “sexo feminino”, atribuindo a estes fundamentos estritamente biológicos (OKA; LAURENTI, 2018). É evidente os aspectos biológicos do sexo na determinação do gênero. Mas as abordagens deterministas, que reivindicam todos os aspectos da sexualidade à Biologia, e o extremo oposto, que nega a biologia devem ser ponderadamente abordados.

Entretanto, é relevante que essa primazia do aspecto cultural parece ser uma herança das teses feministas da década de 1970, que lutavam contra o determinismo biológico que implicava na condição de “sexo feminino” (GOULD,2014).

A professora de Biologia e estudos de gênero da Nancy Duke Lewis na Brown University, Anne Fausto-Sterling, defende a tese de que limitarmos os sexos biológicos apenas em dois, homem e mulher, significa negar direitos aos, segundo ela, muitos outros sexos que existem entre os dois extremos, homem e mulher. Surge uma importante questão de como a biologia dos corpos pode determinar os fenótipos relacionados ao gênero. Além da questão de como o professor de Biologia pode se inserir nessa discussão.

Fausto-Sterling põe a seguinte questão: Mas se o estado e o sistema jurídico têm interesse em manter apenas dois sexos, nossos corpos biológicos coletivos não. Enquanto homem e mulher estão nos extremos de um continuum biológico, existem muitos outros corpos que evidentemente misturam componentes anatômicos convencionalmente atribuídos a homens e mulheres (FAUSTO-STERLING, 2000). As implicações deste argumento para a ideia de o que é ou não determinado biologicamente, quanto a sexualidade, são profundas e passam a surgir no contexto das aulas de Biologia. Se a natureza realmente nos oferece mais de dois sexos, segue-se que nossas noções atuais de masculinidade e feminilidade são conceitos culturais. “Reconceptualizar” a categoria de sexo desafia aspectos estimados da organização social ocidental. De fato, começamos a insistir na dicotomia homem-mulher em idades cada vez mais precoces, tornando o sistema de dois sexos uma parte mais profunda de como imaginamos a vida humana e dando-lhe a aparência de ser natural. Atualmente, meses antes da criança deixar o conforto do útero, a amniocentese e o ultrassom identificam o sexo de um feto (FAUSTO-STERLING, 2000).

Assim a autora busca chamar a atenção para um movimento político de “intersexuais” e seus partidários. Neste sentido, pressionar por uma maior abertura a identidades sexuais mais fluidas. Segundo Fausto-Sterling (2000) “rotular alguém como homem ou mulher é uma decisão social. Podemos usar o conhecimento científico para nos ajudar a tomar a decisão, mas apenas nossas crenças sobre gênero, não ciência, podem definir nosso sexo”. Esta posição em relação à sexualidade é majoritária, principalmente nas ciências humanas (AGUIAR, 1997; ROSEMBERG, 2001).

"Não se nasce, mas se torna mulher". Essa afirmação de Simone de Beauvoir faz uma distinção entre sexo e gênero e sugere que gênero é um aspecto da identidade gradualmente adquirida. A distinção entre sexo e gênero têm sido cruciais para o esforço feminista de longa data de desmerecer a alegação de que a anatomia é o destino; o sexo é entendido como os aspectos invariantes, anatomicamente distintos do corpo feminino, enquanto o gênero é o significado e a forma cultural que esse corpo adquire, os modos variáveis em que os corpos podem ser moldados pela cultura. Com a distinção proposta entre sexo biológico e gênero como resultado de interações culturais, não é mais possível atribuir os valores ou funções sociais das mulheres à necessidade biológica e também não podemos nos referir significativamente a comportamentos de gênero naturais ou não naturais: todo gênero é, neste sentido, por definição, antinatural.

Se ser mulher é uma interpretação cultural de ser mulher, e se essa interpretação não é necessária para ser mulher, parece que o corpo feminino é o local arbitrário da mulher de gênero, e não há razão para impedir a possibilidade desse corpo se tornar o local de outras construções de gênero (BUTLER, 1986).

Aqui Butler já negava qualquer possibilidade de determinismos Biológicos quando se trata de gêneros sexuais, uma negação radical da Biologia. A sua distinção entre sexo biológico ou natural e gênero, que seria não biológico, mas cultural e, portanto, não natural, é bastante polêmica até hoje. Apesar de estarmos vivendo ainda no contexto das discussões de gênero ela está intimamente ligada ao tema determinismo biológicos pois a proposta dos citados acima é exatamente negar qualquer relação causal entre o gênero e os determinismos da Biologia. A ideia que é defendida aqui é que as diferenças que observamos em comportamentos entre meninos e meninas são socialmente herdáveis e não possuem relação com espectros biológicos.

Para Butler, ligar gênero (masculino e feminino) ao sexo biológico (macho ou fêmea) é uma convenção baseado em padrões sociais herdados e consolidados ao longo da história ocidental em uma sociedade que ela chama de sociedade heteronormativa. Neste aspecto a distinção sexo/gênero não existe fundamentalmente sendo apenas aspectos culturais socialmente construídos, portanto, passíveis de serem desconstruídos. Essa discussão pode implicar questões éticas quando se trata de pesquisas científicas que tem como foco a lógica binária (homem/mulher), excluindo de possíveis benefícios indivíduos que não se identificam nesses papéis. Quando sexo e gênero são tomados em uma matriz binária em que considera apenas as poucas possibilidades estabelecidas culturalmente, a heteronormatividade, os indivíduos que não compõe está lógica binária podem ser excluídos socialmente o que pode implicar em questões éticas (OKA; LAURENTI, 2018). Na mesma linha para autores como Judith Butler, O corpo não seria mais que um texto, construído de forma arbitrária por uma cultura determinada. Este corpo pode ser desconstruído sendo possível substituí-lo por outro texto para escapar de uma determinação cultural particular de uma época ou cultura. Isso significa rejeitar qualquer referência a determinismos biológicos que impossibilite essa reconstrução cultural dos corpos, dos sexos e fluidez de gênero (GUILLEBAUD, 2018).

Para Butler, esta sociedade heteronormativa, que delimita os normas de gênero e sexo, seria excludente pois não acolheria características individuais que não já se

encontrasse estabelecidos dentro da matriz heteronormativa. Sobre este aspecto diz Butler:

A matriz cultural por meio da qual a identidade de gênero só se torna inteligível exige que certos tipos de “identidade” não possam existir, Isto é, aqueles em que o gênero não decorre do sexo e aqueles em que as práticas do desejo não “decorrem” nem do “sexo nem do gênero”(BUTLER, 2017, p. 46).

Para Butler, que considera a ideia de gênero bem como a ideia de sexo como impossíveis fundamentalmente, sendo estes apenas criações culturais e discursivas, não resta vestígios de qualquer relação causal entre fenótipos relacionados a sexo e gênero e o biológico. No entanto, neste sentido não haveria uma relação de influência recíproca entre ambiente e os fatores biológicos na formação destes fenótipos relacionados a sexo e gênero. Quanto a isso diz Butler:

A noção de que o sexo aparece na linguagem hegemônica como *substância*, ou, falando metafisicamente, como ser idêntico a si mesmo, é central para cada uma dessas concepções. Essa aparência se realiza mediante um truque performativo da linguagem e/ou do discurso, que oculta o fato de que “ser” um sexo ou um gênero é fundamentalmente impossível (BUTLER, 2017, p. 46).

Assim Butler propõe a total desconstrução das ideias tradicionais que temos referente à sexo e gênero. As atitudes sectárias em favor ou contra tais ideias não ajudam a discuti-las em um contexto de sala de aula, ao trabalharmos conteúdos de Biologia. Ao considerarmos estas discussões e tê-las em mente, nos ajuda a entender a importância de abordarmos temas tidos como secundários no ensino de Biologia como o Determinismo Genético, o que pode ser sempre enriquecedor na compreensão e no desenvolvimento de um olhar crítico dos temas trabalhados em Biologia.

Não se se propõe desprezar as diferenças biológicas existentes entre homens e mulheres, mas considerar que com base em espectros culturais e diferenças biológicas observadas são construídos papéis de gênero. Estes trabalhos nos ajudam a lidar com ideias estereotipadas, antiquados e falsos que disseminam os antigos estereótipos tais como: “os meninos levam vantagem nos estudos de matemática”, “as mulheres são biologicamente mais emotivas que os homens”, e outras ideias falsas. Este tipo de ideia só reforça os estereótipos de gênero.

Em contraponto podemos considerar, ao pensarmos nas questões de gênero, outras abordagens que se voltam mais para as condições do desenvolvimento biológicos dos sexos e, diferentemente das abordagens anteriores, uma relação entre o sexo biológico com o gênero. O discurso de gênero é sobre seres humanos e como em seres humanos bem como em mamíferos em geral não podemos ignorar o complexo mecanismo biológico que determina o sexo. Esses mecanismos genéticos e hormonais também são, ou pelo menos deveriam, compor as reflexões sobre gênero. Relação essa de extrema importância desde que evitemos um olhar sobre a biologia que seja determinista.

Nos seres humanos temos compondo o nosso cariótipo um par de cromossomos sexuais. XX mulheres, XY homens. Desta forma a determinação do sexo biológico e as diferenciações sexuais que estão necessariamente relacionadas à presença ou ausência do cromossomo Y. O cromossomo Y está intimamente associado ao sexo masculino e determinação do sexo em mamíferos (FORD; JONES; POLANI; DE ALMEIDA *et al.*, 1959; MELLO; ASSUMPCÃO; HACKEL, 2005). Um evento decisivo na determinação do sexo é a diferenciação das gônadas masculina e feminina, testículos e ovários respectivamente, os hormônios produzidos por essas glândulas serão determinantes de caracteres que determinará diferenças sexuais (JOST; VIGIER; PRÉPIN; PERCHELLET, 1973). Os hormônios sexuais produzidos pelas gônadas são dos hormônios esteroides que afetam e controlam ritmo de crescimentos, desenvolvimento e comportamentos e ciclos sexuais. As gônadas de mamíferos produzem três categorias principais de hormônios sexuais: estrogênios, progestinas e andrógenos. Fêmeas e machos têm todos os três tipos, mas em proporções diferentes. As fêmeas têm uma alta proporção de estrogênio e andrógenos. Em humanos, os estrogênios mantêm o sistema reprodutor feminino e promove o desenvolvimento de características sexuais secundários femininos, como voz mais aguda, seios e quadris mais largos e tamanho do corpo menor. Em todos os mamíferos tanto as progestinas como a progesterona, estão envolvidas principalmente na preparação e manutenção do útero para apoiar um embrião. Em geral, os andrógenos estimulam o desenvolvimento e a manutenção do sistema reprodutor masculino. Os machos têm uma alta proporção de andrógenos para estrógenos, com seu principal andrógeno sendo testosterona.

Nos seres humanos, os andrógenos produzidos por homens embriões durante a sétima semana de desenvolvimento estimulam o embrião a se tornar um macho e não

uma fêmea. Durante puberdade, altas concentrações de andrógenos desencadeiam o desenvolvimento de características masculinas, como uma voz mais grave, pelos faciais e grandes e ganho de massa muscular (REECE, WASSERMAN, URRY, CAIN *et al.*, 2015).

Alguns autores consideram esse processo em quatro etapas: a *determinação do sexo cromossômico*, que ocorre no momento da fecundação do óvulo pelo espermatozoide; *diferenciação das gônadas* em ovários ou testículos; *diferenciação dos órgãos genitais* internos e externos masculinos ou femininos; e a *diferenciação sexual secundária* que surge como resposta aos hormônios produzidos pelas gônadas, completando desta forma o fenótipo sexual. Desta forma a determinação sexual desencadeia os processos que levam à diferenciação das gônadas em testículos ou ovários, que, por sua vez, desencadearão os processos que levarão a uma diferenciação sexual desencadeado por ações hormonais que determinarão fenótipos específicos (GOODFELLOW; DARLING, 1988; MELLO; ASSUMPÇÃO; HACKEL, 2005).

As discussões e estudos sobre gênero envolve um amplo quadro de fenótipos ligados à sexualidade humana, esses estudos buscam esclarecer o que se deve ao social, biológico ou a ambos. Os indivíduos que sofrem de uma condição psicológica conhecida como "disforia de gênero" experimentam uma incongruência acentuada entre seu sexo biológico e sua "identidade de gênero", definida como o sentimento subjetivo e interno de ser homem ou mulher. A disforia de gênero está listada na quinta edição da American Psychiatric Association do Manual Diagnóstico e Estatístico de Transtornos Mentais (DSM-5). a grande maioria dos jovens "se identifica" com seu próprio sexo até o final da adolescência ou idade adulta, de acordo com o DSM-5 (KERSTEN, 2016). Alguns autores veem na definição do DSM-5 sobre a distrofia de gênero como sendo uma tentativa de demarcar manifestações genuínas da sexualidade humana dentro de uma lógica binária, homem/mulher. O que seria apenas demarcações culturais específicas preocupadas em limitar as manifestações de gênero dentro de um campo específico controlado e classificando o que está fora do campo demarcado como patológico (HENRIQUES; LEITE, 2019).

Depois dessa breve análise do desenvolvimento de fenótipos sexuais podemos ter uma ideia de como a discussão de sexo e gênero, que desenvolvi no início deste capítulo, só pode ser enriquecida com a inclusão da Biologia no seu desenvolvimento.

Podemos ver no próprio desenvolvimento em mamíferos e mais especificamente em seres humanos que há uma diferenciação desde a determinação do sexo, o que ocorre no momento da fecundação do óvulo até a diferenciação sexual secundária, resultado de processos hormonais que ocorrem de modo diferente em sexos diferentes. Isto tem como consequência diferenças, não só bioquímicas, fisiológicas ou morfológicas, bem como comportamentais.

Podemos encontrar alguns autores que contestam a ideia de gênero como construção social. Mas a ideia de que o sexo biológico não determina ou não tem nenhuma relação causal com o gênero é contestada por alguns autores. Segundo Sax (2020) desconsiderar a relação entre sexo e gênero pode ser prejudicial, inclusive no entendimento do desenvolvimento das crianças e nos seus processos de aprendizado. Para ele, apesar das incontestáveis diferenças individuais entre meninas e meninos, não se pode desconsiderar as diferenças de gênero. Para Sax, resolver casos de crianças que sofrem com sua sexualidade, ou seja, adotar uma postura que possa fornecer à criança as melhores possibilidades para entender a sua própria sexualidade não pode excluir o seu sexo biológico ou cromossômico. Negar o sexo biológico e tentar entender a complexidade da sexualidade apenas se voltando a aspectos culturais seria um erro. A cultura não nega ou molda a biologia de forma ilimitada, mas apenas expande a biologia acrescentando aspectos culturais a ela sem eliminar ou negar os aspectos biológicos (SAX, 2020). Desta forma o ambiente e a cultura não eliminam a condição biológica dos fenótipos, mas expandem as possibilidades já inscritas na genética com adicionais epigenéticos e culturais.

Como resume Jean-Claude Guillebaud sobre a importância da relação entre o biológico e o social:

(...) por um lado os corpos vivem morrem dormem comem e sentem dor e prazer independentemente de sua construção social; por outro lado, eles estão inscritos em um meio social e cultural, e seus movimentos também são resultados da educação e da cultura. Os problemas nascem a cada vez que é negada a articulação entre o natural e o cultural e que se concentra o foco ora no corpo biológico geneticamente determinado ora no corpo social culturalmente construído (GUILLEBAUD, 2015 p. 108)

Negar esta relação, priorizando um ao outro, ou negando um ou outro, não seria uma posição adequada para tratar este tema. Ser atento às visões deterministas não significa negar os aspectos biológicos.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Propor uma sequência didática sobre Determinismo Biológico a partir de reflexões acerca dos conhecimentos demonstrados por professores de Ensino Médio mestrandos e mestres do PROBIO-UnB.

2.2 Objetivos específicos

. Refletir sobre as impressões acerca das diferenças entre professores mestrandos e mestres em diferentes anos de entrada na associada PROFBIO UnB.

. Promover discussão sobre o Determinismo Biológico no Ensino Médio.

. Elaborar uma proposta de sequência didática com textos e questões discursivas para a promoção da exposição e discussão sobre o Determinismo Biológico no Ensino Médio.

3 METODOLOGIA DA INVESTIGAÇÃO E DAS REFLEXÕES

Participantes focais: professores(as) de Ensino Médio mestrandos(as) ou mestres do PROFBIO UnB dos anos de 2017, 2018 e 2019.

A coleta de informações foi feita entre os colegas por questionário (Apêndice) remoto devido ao distanciamento social devido à emergência sanitária, provocada pela pandemia Covid19, no primeiro semestre de 2020 e aos limites de prazo.

As reflexões e proposições foram feitas com base nos relatos de 37 colegas mestrandos e mestres, que comentaram acerca de seus conhecimentos e atuação em sala de aula relacionados ao Determinismo Biológico.

Buscamos estabelecer uma relação entre as informações obtidas com os resultados encontrados por outros autores acerca do tema. Também buscamos uma reflexão sobre as possíveis consequências do nível de conhecimento sobre Determinismo Biológico na abordagem e desempenho desses professores de Ensino Médio em salas de aula. Os relatos fornecidos pelos professores foram mantidos sob sigilo e utilizados exclusivamente como

base de nossas reflexões finais. Reforçamos aqui o caráter qualitativo da nossa reflexão baseada na ideia do Professor Reflexivo (Terribili & Quaglio, 2008).

4 REFLEXÕES E DISCUSSÃO

A partir da leitura dos relatos e comentários dos professores mestrandos e mestres do PROBIO UNB fui capaz de refletir sobre como eles abordam (ou muitas vezes nem o fazem) o assunto em seu cotidiano escolar, também fui capaz de ponderar sobre o nível de conhecimento individuais, bem como relacionar alguns às diferentes turmas. As reflexões apresentadas são resultantes da avaliação da qualidade dos relatos, e não tem a pretensão de uma conclusão definitiva sobre o tema, mas evidenciar aspectos da relação dos professores como o tema Determinismo Biológico.

4.1 Dos conteúdos de genética mais trabalhados pelos professores.

A visão determinista da Biologia pode estar relacionada a um entendimento da Genética centrada em modelos de genes que não expressam os diversos fatores que correlacionam o patrimônio genético (genótipo) ao fenótipo. O estudo das heranças monogênicas enfatiza um conceito instrumental de gene que não representa toda a complexidade do mecanismo biológico de expressão dos fenótipos. Este conceito simplificado de gene pode passar um visão determinista da Genética (MOSS, 2004). A simplificação da expressão dos fenótipos como recurso didático, apesar de ser útil em fases iniciais do processo de ensino, pode passar uma ideia equivocada da formação dos fenótipos, pois as metáforas que utilizamos como recurso didático carecem sempre de uma complementação que ressalta a insuficiência destes modelos para explicação dos objetos reais que buscam descrever. As simplificações por meio de esquemas explicativos ou metáforas podem ser importantes recursos na exposição dos temas em Biologia com a utilização de objetos que estão presentes no dia do aluno. No entanto, podem gerar erros conceituais quando não explicitadas as suas limitações (HOFFMANN; SCHEID, 2007).

A introdução também no ensino médio dos trabalhos posteriores às descobertas de James Watson e Francis Crick é um importante passo no combate a uma visão determinista, pois, até mesmo as heranças monogênicas possuem uma expressão complexa e que não se esgotam em esquemas explicativos simples (MCDONALD,

2011).

A análise dos relatos apresentados pelos professores nos mostra que os trabalhos de Watson e Crick sobre a estrutura do material genético e as leis de Mendel são temas predominantes no ensino de Genética. A escolha recorrente deste tema por parte dos professores pode ser interpretada como uma necessidade de introdução dos alunos à Genética com a utilização de temas mais elementares e de mais fácil entendimento, como a estrutura do DNA descoberta por Watson e Crick e as bases da hereditariedade propostas por Mendel. Podemos esperar que a apresentação dos temas mais complexos ou que apresenta uma visão menos determinista da genética seja feita em semelhante proporção logo em seguida. Mas diante dos relatos dos professores relatos podemos notar que temas como “estrutura do DNA” ou “Leis de Mendel” são recorrentes. Enquanto temas que destacam a maior complexidade e contingência na formação dos fenótipos tais como “Lac Operon”, descobertas de autores de importância fundamental no entendimento da Genética como Monod e Jacob, ou outros que evidenciam o caráter não determinista da genética, como Splicing Alternativo ou Epigenética, são raramente mencionados pelos professores.

Tendo em vista a predominância das heranças monogênicas como exemplo da transmissão das características humanas em livros didáticos, heranças essas que são explicadas por meio das proporções mendelianas, a escolha dos professores por temas relacionados às leis de Mendel e as descobertas de Watson e Crick reforçam a necessidade da inclusão de importantes descobertas que se seguiram após a elucidação da estrutura do DNA por esses autores. De Souza Prochazka e Franzolin (2018) já apontaram para a prevalência, em livros didáticos, do conceito molecular clássico de gene resultado das descobertas realizadas por Watson e Crick e do gene ainda ligado à ideia de “fator” empregada por Mendel, e que é utilizada como uma ideia abstrata e que possibilita obter resultados prováveis em cruzamentos genéticos. Isso nos alerta para um outro problema que seria a inclusão dos temas citados, não deterministas, também nos livros didáticos, fazendo assim parte do material de consulta e pesquisa do professor.

4.2 Dos fatores não genéticos que atuam no fenótipo

Ao serem provocados sobre este tópico (fatores não genéticos que atuam na determinação das características fenotípicas) Os professores tinha clara ideia da importância do ambiente na formação das características. Mas, como sabemos, existe muito de aleatoriedade e fatores contingentes que atuam na determinação das características, fatores esses que nos ajuda a entender de forma mais satisfatória a complexidade da formação das características em seres vivos.

Ao comentarem frases deterministas tais como “*Dois indivíduos em igualdade de composição genéticas e ambientais teriam fenótipos idênticos*”(apresenta aos um professor uma afirmação determinista que exige maior atenção, pois, dois refere-se a indivíduos em igualdade de composição genética, como bactérias que se reproduzem assexuadamente por divisão binária, por exemplo, e igualdade de condições ambientais, como habitando o mesmo ambiente, sujeitos, portanto, às mesmas pressões ambientais) ou “*Devido a genes idênticos, gêmeos monozigóticos têm cérebros idênticos bem como os demais fenótipos*” (é mais específica e se refere a gêmeos monozigóticos, sendo mais evidente a impossibilidade da ocorrência de todos os fenótipos idênticos), a maioria dos professores não concordaram e apresentaram objeções a elas devido ao caráter determinista das afirmações e, de fato, como as afirmativas foram, propositalmente, elaboradas para serem deterministas, a opção “não concordo” é o esperado para professores que conseguem reconhecer afirmações que trazem em si um determinismo genético. Isso nos mostra que os professores possuem consciência da importância dos demais fatores, além dos genes, na determinação das características. Mas essa percepção não foi observada entre todos os professores como alguns deles concordando e não questionando afirmações deterministas como as apresentadas acima.

A proposição “*O genoma da espécie H. s. sapiens contém mais genes que o genoma de qualquer outro ser vivo*” relaciona a quantidade de genes à complexidade do organismo. Essa relação expressa uma visão determinista da genética ao tomar a quantidade de genes como proporcional à complexidade da espécie, uma abordagem centrada nos genes como causador direto das características e da complexidade, o que não corresponde à realidade quando tomamos como referência os mais recentes descobertas em genética já disponíveis no ensino médio. A proposição anterior apresentou menor adesão que as outras proposições apresentadas acima, mas, ainda assim, com alguns professores não percebendo o determinismo implícito nela.

Quando as afirmações apresentavam um grau de determinismo mais elevado, como a

afirmação “*Se os clones de Einstein pudessem ser obtidos (todos com o mesmo patrimônio genético), todos seriam muito inteligentes*”, O numero de professores que não percebia a visão determinista implícita na afirmação era menor. Apesar da já consolidada ideia de interação entre genes e ambiente na determinação do fenótipo, os demais fatores que atuam na determinação desses fenótipos, o que evidencia o caráter não determinista da genética, ainda não são percebidos por alguns professores. Castéra e Clément (2014), apresentam resultados semelhantes ao estudarem a manifestação do determinismo biológico entre professores de biologia no ensino médio.

A epigenética, dentre outros fatores que enfatizam o padrão complexo da expressão dos fenótipos, tais como as diversas vias de expressão gênica e questões de penetrância incompleta, são de real importância no combate à visão determinista no ensino de Biologia (PROCHAZKA e FRANZOLIN, 2018). Apesar da importância da epigenética no combate ao Determinismo Genético e, conseqüentemente, para um melhor entendimento dos conteúdos em genética, este é um tema ainda negligenciado e pouco abordado por professores de Biologia (Castéra et al. 2008). Segundo Castéra et al (2008) o conhecimento de temas já historicamente abordados em Biologia não é suficiente para combater o determinismo biológico e suas implicações, sendo necessário abordar especificamente os temas que contribuem para uma visão não determinista, sendo um tema importante neste sentido as modificações epigenéticas do DNA. Entre os relatos apresentados pelos professores o que notamos foi que os professores priorizam outros temas de genética que consideram mais relevantes para os alunos. Poucos professores afirmaram já ter trabalhado este tema em sala de aula.

4.3 definição de Determinismo Biológico ou Genético

A rejeição do determinismo estrito e o apego às leis universais, características das outras ciências como a física e a química, assim como a aceitação de previsões meramente probabilística são componentes essenciais no adequado entendimento dos fenômenos biológicos. A certeza que tem sido um ideal da ciência moderna desde Descartes, tendo como modelo a física, parece agora um objetivo cada vez menos importante e inatingível na biologia (MAYR, 2008). Assim, devemos ser conscientes do pluralismo e do acaso dos eventos em biologia, assim como termos consciências das implicações da visão determinista no ensino de biologia.

Nos seus relatos, os professores foram expostos a seguinte questão: “Defina determinismo biológico ou genético”. Eles deveriam apresentar uma simples definição, o que evidenciaria um conhecimento básico sobre o tema. As definições de determinismo biológico ou genético variam e sofreram mudanças ao longo do desenvolvimento da biologia, mas o seu núcleo conceitual permanece o mesmo desde Aristóteles até a ciência moderna. Assim como em Aristóteles tínhamos um determinismo causal, essencialmente teleológico, e de “formas” imutáveis, temos na biologia moderna um determinismo causal que é condicionado também, não a formas como em Aristóteles, ao determinismo dos genes. Desta forma vimos a definição de determinismo biológico (mais abrangente) como determinismo genético (mais específico) como sendo definições equivalentes.

Entre os professores, metade dos que relataram não tinham uma definição de determinismo ou apresentavam uma definição de outros tipos de determinismo, como o determinismo geográfico, como sendo um tipo de determinismo biológico. Não tinham consciência da existência desse problema na biologia, problema este que pode ter importantes implicações na forma como apresentamos os conteúdos de genética aos alunos. Entre os professores que apresentaram uma definição, podíamos observar definições que não correspondiam ao conceito básico de determinismo biológico. O não conhecimento do tema por uma grande parte dos professores evidencia a necessidade de falarmos sobre temas como o determinismo biológico, que muitas vezes são relegados a outras áreas do saber e não são abordados pela biologia.

Tínhamos como objetivo principal com a pesquisa junto aos professores verificar qual a relação dos professores com o tema determinismo biológico ou genético. E a grande quantidade de professores que afirmaram não saberem definir o tema reforça a necessidade da inclusão do tema em sala de aula do ensino médio, como tema de discussão e debate, para uma visão mais integral e crítica do ensino de Biologia.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar da escassez de investigações que exploram o tema Determinismo Biológico no Ensino Médio, pudemos observar que nossas observações são semelhantes a de estudos como de Castéra e Clément (2014), que investigaram o tema entre professores de Biologia do Ensino Médio. A partir de reflexões sobre as respostas e relatos percebemos o distanciamento dos professores e o desconhecimento sobre o tema Determinismo Biológico. Além, de notarmos a predominância dos temas em sua atuação em sala de aula que não permitem evidenciar a complexidade do processo de formação dos fenótipos e seu caráter em geral não determinista.

Entendemos que o combate ao Determinismo Biológico parte de uma inserção dos novos conceitos ou atualização daqueles conceitos que repetimos (nós os professores) por hábito. Os temas que evidenciam a complexidade da expressão gênica e da formação dos fenótipos não são tão presentes como os temas historicamente consolidados no ensino de Biologia do ensino médio, como os trabalhos de Gregor Mendel sobre hereditariedade e os trabalhos de James Watson e Francis Crick sobre a estrutura do material genético. Esses temas se mostraram bem mais frequentes em aulas do ensino médio, segundo observei nos relatos. A resistência a ministrar temas mais complexos que poderiam esclarecer melhor a formação de fenótipos por mecanismos de expressão genética atuantes, e o foco nas explicações sobre heranças monogênicas que predominam nos livros de Genética no Ensino Médio, podem ser um obstáculo no combate ao Determinismo Biológico.

Nota-se, a partir das definições de gene fornecidas pelos professores que o modelo molecular clássico de gene é o que predomina quando se pensa em gene, gene como unidade física informacional cuja estrutura é facilmente identificável no DNA.

As considerações acerca da Epigenética parecem evidenciar que os professores conhecem apenas o termo, sem contudo serem capazes de expressar o seu significado ou definição. Esse é um tema ainda não muito comum em aulas de Genética do Ensino Médio, embora o conhecimento sobre fatores epigenéticos seja sedimentado em discussões acadêmicas em relação à potencialidade em influenciar na determinação de características.

A maioria de professores que afirmaram não conhecer o tema determinismo genético ou biológico, poderia ser uma dificuldade em reconhecer este tema deveria ser uma preocupação pedagógica real, com implicações e impactos na vida social dos alunos e em como eles entendem a Genética.

Como consideração final, concluímos que o determinismo biológico se mostrou um tema desconhecido entre os professores. Os conteúdos de genética que são priorizados pelos professores foram conteúdos que não evidenciam os aspectos contingentes da genética. Ressaltamos também sempre a possibilidade de introduzirmos o debate sobre o determinismo biológico e suas implicações sociais, nos contextos de conteúdos abordados com prioridade no ensino médio, como os trabalhos relacionados às leis de Mendel e heranças monogênicas. Consideramos assim o desafio enfrentado pelo professor diante do grande volume de conteúdos que devem ser apresentados ao aluno para o desenvolvimento de uma base que possibilite pensar de forma satisfatória sobre os temas em Biologia, inclusive, sobre as implicações sociais e éticas que decorrem das descobertas em genética, a inclusão e discussão do determinismo biológico e genético é fundamental na compreensão crítica e responsável da Biologia. Importante destacarmos que nossa investigação tratou de um tema específico, determinismo biológico, sendo que a preferência que os professores apresentaram por determinados conteúdos foram analisados em relação a este tema. Entendemos que os conteúdos priorizados pelos professores são, também, requisitos básicos para o entendimento dos temas abordados em Biologia.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, N. Gênero e Ciências Humanas desafio às ciências desde a perspectiva das mulheres. **Editora Record**. 1997
- ARISTÓTELES. **Política**. São Paulo, SP: Martin Claret, 2007.
- BERTI, E. **Aristóteles**. São Paulo: Ideias & Letras, 2015.
- BURBANO, H. A. Epigenetics and genetic determinism. **História, Ciências, Saúde-Manguinhos**, 13, n. 4, p. 851-863, 2006.
- BUTLER, J. Sex and gender in Simone de Beauvoir's Second Sex. **Yale French Studies**, n. 72, p. 35-49, 1986.
- BUTLER, J. Problemas de gênero: feminismo e subversão da identidade. 13ª edição. **Rio de Janeiro: Civilização Brasileira**, 2017.
- CASTÉRA, J.; CLÉMENT, P. Teachers' conceptions about the genetic determinism of human behaviour: A survey in 23 countries. **Science & Education**, 23, n. 2, p. 417-443, 2014.
- CORDÓN, J. M. N.; MARTINEZ, T. C. História da Filosofia: dos Pré-Socráticos à Filosofia Contemporânea. **Lisboa: Edições 70, 2014,(11995)**, 2016.
- DE MEIRA PENNA, J. O. **Polemos: uma análise crítica do darwinismo**. Brasília: UnB, 2006. 8523008624.
- DE CARVALHO-NETO, M. B.; SALINA, A.; MONTANHER, A. R. P.; CAVALCANTI, L. A. O projeto genoma humano e os perigos do determinismo reducionista biológico na explicação do comportamento: uma análise behaviorista radical. **Revista Brasileira de Terapia Comportamental e Cognitiva**, 5, n. 1, p. 41-56, 2003.
- DE SOUZA PROCHAZKA, L.; FRANZOLIN, F. A genética humana nos livros didáticos brasileiros e o determinismo genético. **Ciência & Educação (Bauru)**, 24, n. 1, p. 111-124, 2018.
- DOS SANTOS, V. C.; EL-HANI, C. N. Idéias sobre genes em livros didáticos de biologia do ensino médio publicados no Brasil. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, 9, n. 1, 2009.
- EL-HANI, C. Modelos invisíveis: receita para problemas no ensino de genética. darwinianas. **D a r w i n i a n a s . c o m .** 2017.
- EVANGELISTA, N. A. M. O conceito de gene em livros didáticos de biologia celular e molecular do ensino superior. 2016.
- FAUSTO-STERLING, A. **Sexing the body: Gender politics and the construction of sexuality**. Basic Books, 2000. 0465077145.

- FORD, C.; JONES, K.; POLANI, P.; DE ALMEIDA, J. *et al.* A sex-chromosome anomaly in a case of gonadal dysgenesis (Turner's syndrome). 1959.
- GERSTEIN, M. B.; BRUCE, C.; ROZOWSKY, J. S.; ZHENG, D. *et al.* What is a gene, post-ENCODE? History and updated definition. *Genome research*, 17, n. 6, p. 669-681, 2007.
- GOODFELLOW, P.; DARLING, S. Genetics of sex determination in man and mouse. **Development**, 102, n. 2, p. 251-258, 1988.
- GOULD, S. J. **A Falsa Medida do Homem**. Tradução SIQUEIRA, V. L. 3ª ed. São Paulo: WMF Martins Fontes Ltda, 2014.
- GUILLEBAUD, J.-C. **A vida viva: contra as novas dominações**. Editora Bertrand Brasil, 2018. 8528623629.
- HENRIQUES, R. d. S. P.; LEITE, A. F. d. S. A disforia de gênero como síndrome cultural norte-americana. **Revista Estudos Feministas**, 27, 2019.
- JAMIESON, A.; RADICK, G. Genetic determinism in the genetics curriculum. *Science & Education*, 26, n. 10, p. 1261-1290, 2017.
- JOHANNSEN, W. The genotype conception of heredity. **The American Naturalist**, 45, n. 531, p. 129-159, 1911.
- JOAQUIM, L. M.; EL-HANI, C. N. A genética em transformação: crise e revisão do conceito de gene. **Scientiae studia**, 8, n. 1, p. 93-128, 2010.
- JOST, A.; VIGIER, B.; PRÉPIN, J.; PERCHELLET, J. P., 1973, **Studies on sex differentiation in mammals**. Elsevier. 1-41.
- KELLER, E. F. **O século do gene**. Crisálida, 2002.
- KERSTEN, K. **Transgender comfomity**. 2016.
- KLAUTAU-GUIMARÃES, M. d. N.; PAIVA, S. G.; OLIVEIRA, S. F. d. **Herança monogênica: além de Mendel, além do DNA**. *Genética na Escola*. : Sociedade Brasileira de Genética. 9: 80 - 85 p. 2014.
- LEITE, M. Retórica determinista no genoma humano. **Scientiae Studia**, 2006.
- LEWONTIN, R. **A tripla hélice: gene, organismo e ambiente**. Tradução FILHO, J. V. São Paulo: Companhia das Letras 2002.
- LEWONTIN, R. C. Sociobiology as an adaptationist program. **Behavioral science**, 24, n. 1, p. 5-14, 1979.
- LEWONTIN, R. C. **Biologia Como Ideologia - A Doutrina do Dna**. FUNPEC, 2010.
- MAI, L. D.; ANGERAMI, E. L. S. A inserção do termo eugenia na revista brasileira de enfermagem-REBEN, 1932 a 2002. **Ciência, Cuidado e Saúde**, 5, p. 085-091, 2006.
- MCGRATH, A. **O Deus de Daekins: genes, memes e o sentido da vida**. Tradução SARAIVA, S. São Paulo: Shedd Publicações, 2008.

- MCDONALD, J. H. Myths of human genetics. **Baltimore: Sparky House**, 2011.
- MENDEL, G. Experiments in plant hybridization (1865). **Verhandlungen des naturforschenden Vereins Brünn**) Available online, 1996.
- MELLO, M. P. d.; ASSUMPÇÃO, J. d. G.; HACKEL, C. Genes envolvidos na determinação e diferenciação do sexo. **Arquivos Brasileiros de Endocrinologia & Metabologia**, 49, p. 14-25, 2005.
- MORIN, E. **Ciência com consciência** 8ª ed. ed. São Paulo: Bertrand Brasil, 2005.
- MOSS, L. **What genes can't do**. MIT press, 2004. 0262632977.
- MUKHERJEE, S. **O gene: Uma história íntima**. 1ª ed. ed. São Paulo: Editora Companhia das Letras, 2017.
- OKA, M.; LAURENTI, C. Entre sexo e gênero: um estudo bibliográfico-exploratório das ciências da saúde. **Saúde e Sociedade**, 27, p. 238-251, 2018.
- PERTEA, M.; SALZBERG, S. L. Between a chicken and a grape: estimating the number of human genes. **Genome biology**, 11, n. 5, p. 206, 2010.
- PIERCE, B. A. **Genetics: A conceptual approach**. Macmillan, 2012. 1429232528.
- PINO, A. As marcas do humano: pistas para o conhecimento da nossa identidade pessoal. **Educação & Sociedade**, 39, n. 142, p. 227-236, 2018.
- REECE, J. B.; WASSERMAN, S. A.; URRY, L. A.; CAIN, M. L. *et al.* **Biologia de Campbell**. Artmed Editora, 2015. 8582712308.
- ROSEMBERG, F. Educação formal, mulher e gênero no Brasil contemporâneo. **Revista estudos feministas**, 9, n. 2, p. 515-540, 2001.
- ROONEY, A. **A história da Biologia: Da Ciência dos tempos antigos à Genética moderna**. São Paulo: M.Books do Brasil Editora Ltda., 2018.
- SANTOS, V. C.; FONSECA, J. G.; BOERY, R. N. S. d. O.; SENA, E. L. d. S. *et al.* Eugenia vinculada a aspectos bioéticos: uma revisão integrativa. **Saúde em Debate**, 38, p. 981-995, 2014.
- SAX, L. **Por que gênero importa?** LVM Editora, 2020. 8593751946.
- SILVÉRIO, L. E. R.; MAESTRELLI, S. R. P. O conceito de gene como obstáculo pedagógico: repercussões no ensino e aprendizagem de genética escolar. **V Encontro Regional Sul de Ensino de Biologia–EREBIO-SUL**. Londrina/PR, 2011.
- TARNAS, R. **A epopeia do pensamento ocidental: para compreender as ideias que moldaram a nossa visão de mundo**. 10ª ed. ed. Rio de Janeiro : Bertrand Brasil, 2019. (Rio de Janeiro: Bertrand Brasil.
- TERRIBILI, A. ; QUAGLIO, P.. Professor reflexivo: mais que um modismo – uma possibilidade real. *Revista da Fac. de Educação*. no.9. 2008.
- VENTER, J. C.; ADAMS, M. D.; MYERS, E. W.; LI, P. W. *et al.* The sequence of the human genome. **science**, 291, n. 5507, p. 1304-1351, 2001.

- VINNEY, C. Biological Determinism: Definition and Examples. thoughtco. 2019.
- WATSON, J. D.; CRICK, F. H. Genetical implications of the structure of deoxyribonucleic acid. **Nature**, 171, n. 4361, p. 964-967, 1953a.
- WATSON, J. D.; CRICK, F. H. Molecular structure of nucleic acids: a structure for deoxyribose nucleic acid. **Nature**, 171, n. 4356, p. 737-738, 1953b.
- WAGGONER, M. R.; ULLER, T. Epigenetic determinism in science and society. **New Genetics and Society**, 34, n. 2, p. 177-195, 2015.
- WILSON, E. O. **Da natureza humana**. TA Queiroz/Ed. da, 1981.
- WILSON, E. O. **A conquista social da terra**. Editora Companhia das Letras, 2013. 8580866243.
- WILSON, E. O. **O sentido da existência humana**. 1ª ed. ed. São Paulo: Companhia das Letras, 2018.
- WINTHER, R. G. Determinism and total explanation in the biological and behavioral sciences. **eLS**, 2001.

**7 PRODUTO EDUCACIONAL DO TCM:
PROPOSTA DE ATIVIDADE SOBRE DETERMINISMO BIOLÓGICO
PARA ALUNOS E PROFESSORES**

SUMÁRIO

1. Identificação do curso	53
2. Apresentação.....	53
3. Objetivos de aprendizagem	54
4. Metodologia.....	55
5. Sobre a avaliação da aprendizagem	56
6. Tópicos abordados no curso	56
6.1. Origens do pensamento determinista em ciência	56
6.2. A crise do conceito de gene e do Determinismo Genético	63
6.3. Consequências do determinismo biológico	74
7. sugestão de respostas às questões discursivas	83
8. Algumas indicações de leitura úteis para pensar melhor sobre o determinismo biológico.....	87

GUIA PARA CONSTRUÇÃO E APROVEITAMENTO DO CURSO

1 IDENTIFICAÇÃO DO CURSO

Curso: determinismo biológico

Tópicos abordados:

- 1- Origens do pensamento determinista em ciência.
- 2- Dos fatores mendelianos ao Determinismo Genético.
- 3- Consequências do determinismo biológico.

2 APRESENTAÇÃO

Apresentamos uma proposta de atividade com um formato de curso para o debate sobre o determinismo biológico entre os professores de Biologia e alunos do ensino médio ou qualquer pessoa que se interessar pelo tema. Diante dos resultados deste breve levantamento sobre o conhecimento dos professores sobre o tema determinismo biológico, onde 56% dos participantes afirmaram não conhecer o tema, apresento este breve material como uma atividade que poderá contribuir para uma discussão sobre o determinismo biológico. Além da necessária discussão sobre o tema no ensino médio, e tendo em vista a importância do tema para uma postura mais responsável e crítica diante dos conteúdos de Biologia, em especial a genética e sua aplicação na sociedade, bem como a sua vinculação pela mídia, propomos aqui apenas um modelo de comunicação entre professores que pode ser útil no debate sobre este tema que, acreditamos, ser relevante para o ensino de Biologia.

Este material poderá ser utilizado por professores ou estudantes que pretendam debater o tema determinismo biológico, bem como os temas de Biologia relacionados a ele. O desenvolvimento de discussões que visam a problematização de temas de Biologia bem como o desenvolvimento de um olhar mais crítico e reflexivo sobre os temas de Biologia encontrará na discussão proposta aqui um guia.

Os textos base que compõem as três partes do curso são seguidos de indicações e referências de artigos sobre os temas abordados em cada tópico, além de vídeos que tratam de temas que dialogam com o determinismo biológico. O material proposto é

composto de material de acesso livre na internet e textos introdutórios produzidos baseados em uma bibliografia relacionada ao tema. A versão teste deste curso foi hospedado na plataforma de ensino de acesso livre MOODLE CLOUD, pensando na utilização das plataformas digitais como importantes ferramentas de troca de experiências entre os professores, porem pode ser hospedado em qualquer site de acesso livre. este material foi pensado para ser um guia de estudos inicial, textos e vídeos de acesso livre, sobre o determinismo biológico.

3 OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM

OBJETIVOS DE CADA TÓPICO	
1- Origens do pensamento determinista em Ciência.	<p>Objetivo</p> <p>Analisar a origem do pensamento determinista e traçar um panorama deste pensamento em Aristóteles e como o pensamento determinista se consolidou na física moderna e influenciou o surgimento do determinismo biológico. O objetivo não é percorrer de forma exata as origens do pensamento determinista. Mas apenas relatar o pensamento determinista em Aristóteles e a manifestação deste pensamento também na física, que influenciará a Biologia.</p>
2- Dos fatores mendelianos ao determinismo genético.	<p>Objetivo</p> <p>Compreender os diferentes conceitos de gene, situar esses conceitos em um contexto histórico e perceber a importância da separação dos diversos conceitos de gene para uma visão não determinista na formação dos fenótipos. Destacar a importância dos avanços na compreensão dos mecanismos de formação dos fenótipos evidenciados pelas descobertas da genética que se acumulam e evidenciam uma complexidade incompatível com uma visão determinista.</p> <p>E partindo da premissa de que a compreensão dos</p>

	conceitos em genética se dá de forma mais eficaz quando se considera os aspectos histórico da formação destes conceitos, apresentamos um texto introdutório com uma um breve panorama histórico da formação de um conceito de extrema importância na Biologia e para pensarmos o determinismo biológico, o conceito de gene.
3- Consequências do determinismo biológico.	Objetivo Discutir algumas consequências do determinismo biológico enquanto ideia aplicada nas sociedades humanas. Pensar as manifestações do determinismo biológico hoje com o advento da genética moderna.

4 METODOLOGIA

O conteúdo será apresentado na forma de vídeos e artigos que abordam o tema. Também são apresentados sites da internet que possuem conteúdos relevantes para a discussão do tema. Os vídeos estão disponíveis na internet e são de acesso público bem como os artigos selecionados. Todas as referências estão disponíveis no *tópico 6* deste material. Cada tópico contém um texto introdutório que apresenta uma ideia geral das discussões propostas no tópico.

Após a leitura dos artigos e a exposição dos vídeos, segue-se à resolução das questões propostas para discussão. A discussão sobre os conteúdos vistos pode continuar em fóruns de discussão ou Chats, ferramentas que estão disponíveis em plataformas digitais de ensino como a plataforma moodle que indicamos aqui. São apresentados os gabaritos das questões discursivas caso surjam dificuldades ou caso o professor queira consultar respostas alternativas. Os textos, artigos e as questões discursivas, bem como suas respostas, podem ser impressos para uso na ausência de plataforma digital.

As questões discursivas apresentadoras não possuem a função de aferir conhecimento, mas de retomar a discussão apresentada nos textos e nos vídeos e estimular uma discussão entre os professores e alunos.

5 SOBRE A AVALIAÇÃO DA APRENDIZAGEM

Este curso não tem como proposta inicial avaliar o desempenho dos professores participantes, mas apenas propor o tema e estimular a discussão e inserção do tema nas discussões pedagógicas entre professores de Biologia. Mas as ferramentas de avaliação estão disponíveis na plataforma moodle, que sugerimos a hospedagem deste material, caso surja a necessidade de atividades avaliativas. A resolução das questões propostas para discussão também pode atuar para este fim.

6 TÓPICOS ABORDADOS NO CURSO

6.1 - ORIGENS DO PENSAMENTO DETERMINISTA EM CIÊNCIA

Texto base 1

O filósofo grego Aristóteles, nascido em 384 – 383 a.C., em Estagira, colônia jônica, situada no norte da Grécia, foi o primeiro cientista a abordar o estudo dos seres vivos de forma sistemática, percebendo e catalogando padrões que percebia entre diferentes grupos de seres vivos. Para Aristóteles o desenvolvimento dos seres vivos seguia um desenvolvimento teleológico. Deste modo, na filosofia aristotélica a teleologia é imanente, isto é, o fim para que todos os seres vivos tendem é interior a si próprio, não é mais do que sua própria perfeição, há um determinismo no desenvolvimento dos seres vivos assim como em todos os fenômenos naturais (CORDÓN; MARTINEZ, 2016).

A visão determinista de Aristóteles sobre a natureza e a condição dos seres vivos se reflete em momentos da sua obra em suas concepções sobre a sociedade e a organização política. Como ele professa na sua obra “A política” sobre posições sociais baseadas em uma visão determinista de que os indivíduos nascem naturalmente predeterminados a ocupar determinadas posições sociais: “Não é apenas necessário, mas também vantajoso que haja mando por um lado e obediência por outro; e todos os seres, desde o primeiro instante do nascimento, são, por assim dizer, marcados pela natureza, uns para comandar, outros para obedecer” (ARISTÓTELES, 2007, p. 14).

Para Aristóteles as formas são essencialmente imutáveis e imanentes na natureza e não transcendentais. Aristóteles denominava de “forma” a entidade que determinava o curso do desenvolvimento do ser vivo, não havia possibilidade de alteração das formas e as variações eram meros “acidentes”. Diferentemente de Platão, do qual Aristóteles foi discípulo, as formas não eram transcendentais mas sim imanentes, portanto, este processo de desenvolvimento era perfeitamente compreensível, ou seja, passíveis de reconhecimento pelo intelecto humano (TARNAS, 2019).

O termo “forma”, empregado por Aristóteles, pode ser entendido, para efeito de nosso estudo, como “o programa intrínseco para o desenvolvimento de um ente, que o leva a sua plena realização, é o equivalente, por exemplo, na genética moderna à sequência do genoma” (BERTI, 2015, p. 146).

Aristóteles além de cientista era filósofo e tratava de assuntos relacionados aos seres vivos utilizando uma nomenclatura filosófica e uma abordagem metafísica que está na base de suas observações empíricas e descritivas do mundo natural. Quando Aristóteles diz que os seres vivos possuem uma “teleologia imanente”, ele quer dizer, trazendo para um contexto moderno, que todo o mapa de desenvolvimento de um ser vivo está dentro dele e o seu desenvolvimento seguirá fielmente este mapa, que é imutável. Ou seja, o desenvolvimento é determinado por este mapa (forma) que é imanente aos seres vivos.

Temos em Aristóteles um tipo de pensamento determinista, mas seu pensamento era apoiado em estudos metafísicos que é diferente do pensamento determinista moderno, que veremos adiante. Assim como hoje em dia alguns acham que o DNA do ser vivo é o mapa do desenvolvimento que possui todas as instruções necessárias para o desenvolvimento dos seres vivos, sem considerar todos os outros fatores que compõem este desenvolvimento, o que caracteriza o Determinismo Genético. Aristóteles também considerava que o desenvolvimento era determinado, mas pela forma, ou causa formal que guia o desenvolvimento de todos os seres vivos. Mas ele explica esse desenvolvimento nos termos da metafísica.

Em vista das suas ideias sobre o desenvolvimento dos seres vivos, Aristóteles foi considerado por alguns geneticistas do século XX como um precursor na descoberta do DNA devido à semelhança do seu conceito de forma como o conceito de DNA, ambos programas que guiam o desenvolvimento dos seres vivos (BERTI, 2015).

Portanto, vemos aqui em Aristóteles um determinismo em relação ao desenvolvimento dos seres vivos.

Já no período histórico do renascimento, período que os historiadores datam como sendo entre os séculos XIV e XVI, as concepções aristotélicas da ciência sofreriam algumas mudanças paradigmáticas impulsionadas, principalmente, pela necessidade de rigor matemático no estudo dos fenômenos naturais. Surgia a necessidade de uma nova ciência que rompia com as concepções teológicas da idade média, período que adotou a interpretação aristotélica sobre o desenvolvimento dos seres vivos, e da ciência aristotélica. A física era uma representante da ciência moderna que surgia com as novas descobertas no campo da astronomia com os trabalhos de Copérnico e, posteriormente, Kepler, Galileu, Descartes e Newton. Para estes cientistas era perfeitamente possível compreender a dinâmica do universo e o comportamento dos planetas utilizando cálculos e fórmulas matemáticas. Nascia assim a crença de um universo que operava segundo uma lógica matemática, e para entender este universo era preciso descobrir o padrão matemático por traz do seu movimento. Desta forma, se o universo é regido por leis matemáticas, se podermos descobrir essas leis matemáticas poderíamos prever fenômenos naturais antes mesmos que acontecessem. Ou seja, a natureza era uma ordem causal fechada e predeterminada por leis fixas e matematizáveis.

A ciência moderna que tem como representantes principais Bacon, Descartes, Leibniz, e Newton, apontam agora para o estudo empírico da matéria, dos fenômenos mensuráveis da natureza, deixando em segundo plano, as abordagens metafísicas. Diante deste cenário a matemática se torna instrumento indispensável na ciência, e a física é um símbolo da ciência moderna.

A mudança que podemos observar entre o determinismo em Aristóteles e o determinismo moderno, que observamos na física Newtoniana moderna, é quanto a origem das leis deterministas. Enquanto o determinismo de Aristóteles era resultante de forças imanentes ao próprio ser vivo e a toda natureza que conduzia o desenvolvimento em uma determinada direção ou fim (*causa finalis*), na física moderna este movimento de desenvolvimento era impellido por leis físicas e matemáticas.

Sobre as origens do determinismo na física, e a impossibilidade de entender os sistemas biológicos por meio das leis deterministas da física nos diz biólogo alemão Ernst Mayr:

Uma das consequências da aceitação de leis deterministas newtonianas foi que não restou espaço para variação ou eventos casuais. O famoso matemático e físico francês Laplace gabou-se de que um conhecimento completo do mundo presente e de todos os seus processos lhe permitiria prever o futuro até o infinito. Mesmo os físicos logo descobriram a ocorrência de aleatoriedade e contingências suficientes para refutar a validade da presunção de Laplace. A refutação do determinismo estrito e da possibilidade de predição absoluta abriu caminho para o estudo da variação e de fenômenos casuais, tão importantes em biologia (MAYR, 2005, p. 43).

Mayr chama a atenção para o caráter probabilístico dos fenômenos em Biologia, e para o pequeno papel das leis em Biologia, vendo como principal razão da menor importância das leis na formulação das teorias em Biologia a aleatoriedade e o acaso presentes em sistemas biológicos. Para Mayr o determinismo biológico seria fruto de uma Biologia ainda não dissociada da física como ciência autônoma.

Um aspecto que difere os sistemas biológicos dos não vivos que merecem destaque na visão de Mayr é a causalidade dual. Os sistemas biológicos, além de serem causados por processos naturais e leis naturais comuns aos processos físicos e químicos, estariam sujeitos também a programas genéticos. Segundo Mayr: “Tal dualidade perfaz uma demarcação clara entre processos inanimados e vivos” (MAYR, 2005, p. 46). A existência de um programa genético estável e ordenado que possibilita o armazenamento e transmissão de características ao longo de geração a despeito da desordem dos processos físicos e químicos é a característica singular dos sistemas biológicos vivos. Toda esta estabilidade e ordem está sujeita a alterações que resultam em novos fenótipos que podem ser eliminados, ignorados ou selecionados pelo ambiente, possibilitando a dinâmica do processo evolutivo. Esta complexidade causal dos sistemas biológicos torna as visões deterministas improváveis tendo em vistas as possibilidades possíveis de formação dos fenótipos, apesar da necessária e evidente permanência dos programas genéticos estáveis e determinados em alguns níveis ao longo das gerações.

VÍDEOS

- <https://vimeo.com/431968224> (vídeo de apoio ao texto base 1, sobre a história do pensamento determinista)

O vídeo apresenta uma definição de determinismo biológico. Apresenta também uma reflexão sobre o determinismo biológico no pensamento de Aristóteles e Platão. Aborda a questão do determinismo na física.

ARTIGO

- A noção de determinismo na física e seus limites, Michel Paty. (ler apenas capítulo 1: O ideal determinista: a causalidade física mais as condições iniciais)

O artigo apresenta uma crítica ao determinismo e à causalidade na física. É importante observar que este artigo não trata diretamente do determinismo biológico, mas do determinismo na física. Mas o determinismo na física acabou implicando em um determinismo biológico posterior, principalmente com Claude Bernard.

Referências e locais de acesso

Sousa, V. N. (23 de 06 de 2020). *vimeo.com*. Acesso em 23 de 06 de 2020, disponível em 1 Vídeo (15 min). ORIGENS DO DETERMINISMO BIOLÓGICO: <https://vimeo.com/431968224>

PATY, M. (06 de 12 de 2004). A noção de determinismo na física e seus limites. *Sci. stud.*, pp. 465-492. Acesso em 02 de 06 de 2020, disponível em https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1678-31662004000400002&script=sci_abstract&tlng=pt

QUESTÕES PARA DISCUSSÃO



- 1- Por que o pensamento de Aristóteles sobre o desenvolvimento dos seres vivos pode ser considerado determinista?
- 2- Por que o determinismo de Aristóteles mantém uma relação com a visão determinista da genética hoje?
- 3- Aponte dois motivos pelos quais não podemos aplicar leis matemática para entender completamente o desenvolvimento de organismos vivos.
- 4- Fale um pouco sobre o que Ernst Mayr quer dizer com causalidade dual em Biologia, em comparação com os sistemas não vivos.

Alguns conceitos incomuns na Biologia.

- **Causa Formal:** Podemos definir causa formal como estrutura ou molde que a matéria exibe. Para Aristóteles a causa formal se desenvolvia juntamente com outro tipo de causa, a causa material. A causa material seria a matéria do objeto. E a causa formal sua forma. Trazendo para o contexto da biologia moderna, a causa formal seria o DNA e a causa material seria a matéria utilizada para formar os tecidos e órgãos e por fim o indivíduo, assim, uma causa depende da outra.
- Além desses dois tipos de causa, Aristóteles ainda formulou mais dois tipos (causa **eficiente** e **formal**). A ciência moderna considera apenas a causas material e eficientes como empiricamente justificáveis.

6.2 A CRISE DO CONCEITO DE GENE E DO DETERMINISMO GENÉTICO

Texto base 2

Neste texto base 2 abordaremos o contexto histórico dos estudos que culminaram na revelação da estrutura do material genético. Destacaremos aqui algumas descobertas que ajudaram a formar um imaginário em torno do conceito de gene. Os aspectos históricos do conhecimento biológico e do desenvolvimento da genética são fundamentais para pensarmos sobre o tema determinismo biológico.

Os princípios fundamentais da genética moderna foram descobertos já em 1860 pelo monge agostiniano sueco Gregor Johann Mendel (1822-1884), trabalhando com cruzamentos de ervilhas, estabeleceu o modelo de herança particulada. Eram as partículas responsáveis pela transmissão das características hereditárias. Partículas essas que atuavam em pares alternativos que Mendel denominou de “fatores”. As descobertas de Mendel, levaram à formulação das leis da segregação e segregação independente, que ainda são fundamentos da genética moderna (REECE; WASSERMAN; URRY; CAIN *et al.*, 2015). Os fatores idealizados por Mendel eram uma hipótese, pois não havia como demonstrar a existência material destes fatores. Os fatores permaneciam como uma ideia abstrata diante da impossibilidade na época de comprovar a materialidade dos fatores mendelianos. Mendel fundamenta sua hipótese de forma inovadora e moderna utilizando dados tabelas e dados estatísticos, o que dificultou a interpretação diante da não familiaridades dos pesquisadores da época de Mendel com essa abordagem matemática.

Mendel apresentou seus trabalhos, o que viria a ser a base de toda a genética moderna, em artigo a uma plateia de agricultores, botânicos, e biólogos da sociedade de ciência natural em Brünn (Brno) na Áustria, atual República Checa. O artigo de Mendel, publicado em 1865, continha uma ideia original, resultado de oito anos de pesquisa (1856 a 1864), que não foi compreendida pelos cientistas da época (MUKHERJEE, 2017).

Apenas 35 anos depois da publicação, em 1900, os trabalhos de Mendel foram redescobertos por três autores, o Holandês Hugo de Vries (1848-1935), o alemão Carl

Erich Correns, e o austríaco Erich von Tschermak-Seysenegg (1871-1962). Esses três pesquisadores redescobriram os trabalhos de Mendel trabalhando de forma independente. Com o resgate e divulgação das ideias de Mendel o século XX viu nascer a mais nova ciência, a genética, termo atribuído ao geneticista William Bateson em 1906.

O termo gene foi cunhado em 1909 por Wilhelm Johannsen. Não se sabia o que de fato era um gene, como já mencionado acima, gene era um conceito idealizado que atendia aos métodos de pesquisa utilizados por pesquisadores na época. O próprio Johannsen afirmou que cunhou o termo apenas para separá-lo dos termos antigos, como o de gêmulas, unidades hereditárias da teoria de hereditariedade adotada por Charles Darwin. Como Johannsen afirmou, que “o " gene" nada mais é do que uma pequena palavra muito aplicável, facilmente combinada com outras e, portanto, pode ser útil como uma expressão para os "fatores unitários", "elementos" dos gametas, demonstrada pelas pesquisas mendelianas modernas” (JOHANNSEN, 1911).

Os biólogos voltaram suas atenções para o funcionamento da célula na segunda metade do século XIX. Com o fortalecimento da citologia neste período, se consolidava cada vez mais a possibilidade de descoberta da localização e materialidade ou não dos fatores mendelianos. Esta análise da célula se voltava para o funcionamento e para os processos de divisão celular. Não mais se trata de fazer comparações e analogias como os paradigmas anteriores, mas de buscar as características que unificam todas as células, comum a todos os seres vivos. A citologia impulsionada pela máxima resolução permitida pelas leis da física a que atingiram os microscópicos no final do século XIX foi fundamental neste processo, assim como o desenvolvimento de técnicas de coloração seletiva de partes das células como o núcleo.

Em 1903, Theodor Boveri (1862-1915) e Walter Stanborough Sutton (1877-1916) apresentaram a hipótese de que os pares de cromossomos eram a base da herança ou fatores mendelianos. Sutton relacionou o padrão de separação dos cromossomos homólogos durante a meiose à separação dos fatores mendelianos. Esta hipótese ficou conhecida como hipótese Boveri-Sutton. A hipótese Boveri-Sutton propôs ainda que os cromossomos eram diferentes e que o pareamento dos cromossomos masculinos e feminino explicava a variação entre os indivíduos e a herança mendeliana (ROONEY, 2018). A adoção de alguns organismos que facilitavam a observação e a experimentação permitiu um avanço nas descobertas dos mecanismos de divisão celular,

como a adoção de células germinativas de ouriço do mar utilizados por Boveri. As características dos espermatozoides de ouriço do mar com núcleo condensado e simples de ser observado, além de óvulos grandes e transparentes fáceis de serem observados, possibilitaram um rápido avanço nos trabalhos sobre hereditariedade neste período.

Com Boveri e Sutton houve um avanço na descoberta dos fatores hereditários, mas não havia comprovação decisiva de que os fatores hereditários se localizavam realmente nos cromossomos.

Um avanço importante veio com os trabalhos do geneticista estadunidense Thomas Hunt Morgan (1866-1945) que, trabalhando com a mosca *Drosophila melanogaster*, promoveu novos avanços no estudo da natureza e localização do material genético. Estudando o padrão de herança de caracteres específicos como a cor dos olhos ele percebeu que nem todas as características hereditárias eram transmitidas de forma independente, como supôs Mendel (McGRATH, 2008). Morgan também comprovou uma hipótese já propostas antes dele, de que os genes se localizavam fisicamente nos cromossomos, Morgan descobre os primeiros genes ligado ao sexo na *Drosophila melanogaster*, ele sugere que estes genes estariam localizados no cromossomo X. os trabalhos de Morgan consolidaram a teoria cromossômica da herança. Mas, Morgan e sua equipe não sabiam se era o DNA ou as proteínas, ambos componentes dos cromossomos, responsáveis por codificar a informação.

Com as descobertas de Morgan iniciou-se a corrida científica para se descobrir qual era a natureza química dos cromossomos e, por sua vez, qual a natureza química dos fatores hereditários.

Estudos sobre a natureza química dos cromossomos já haviam sido realizados por contemporâneos de Mendel. O bioquímico suíço Friedrich Miescher já havia descoberto os ácidos nucleicos, que ele chamou de nucleína. Miescher fez essas descobertas em 1868, bem antes da redescoberta dos trabalhos de Mendel. Mas essas informações sobre a química dos cromossomos não respondiam às perguntas mais essenciais sobre hereditariedade na época. Em 1938 Phoebus Levene (1869- 1940) descobriu que o DNA era formado por uma cadeia de nucleotídeos que eram formados por bases nucleotídicas, um glicídio (açúcar) e por grupos fosfato. Mas esta composição simples, de encadeamento de nucleotídeos unidos por um grupo fosfato, levou Levene a concluir que ela não poderia estar relacionada com a codificação das características complexas dos seres vivos. A composição química relativamente simples do DNA era

incompatível com a grande quantidade e complexidade das características dos seres vivos.

Em um experimento clássico da Biologia, o médico inglês a Frederick Griffith (1881-1941), investigando bactérias *Streptococcus pneumoniae*, descobriu o que viria, posteriormente, a ajudar nas pesquisas de como as características hereditárias eram transmitidas. Os objetivos da pesquisa de Griffith não estavam diretamente relacionados à pesquisa sobre hereditariedade tal como em Morgan e seus antecessores. Griffith trabalhava investigando uma pandemia de pneumonia em Londres em 1928. Enquanto instigava duas linhagens da bactéria *Streptococcus pneumoniae*, uma linhagem patogênica, também chamada de Cepa S. E outra linhagem não patogênica ou Cepa R. Griffith observou que bactérias não patogênicas (R) podiam se transformar em bactérias patogênicas (S). Isso acontecia quando bactérias S mortas por calor eram injetadas em ratos juntamente com bactérias R vivas. Griffith chamou de “princípio transformante” a capacidade de bactérias patogênicas transmitirem essa característica às bactérias não patogênicas. Griffith publicou seus trabalhos em 1928.

Em 1940 Erwin Chrgaff descobriu a proporcionalidade das bases nitrogenadas do DNA o que ajudaria, posteriormente a compreender a estrutura da química desta molécula.

Mas a confirmação de que o DNA é o portador da informação genética veio apenas em 1943 quando Oswald Avery, Colin MacLeod, Maclyn McCarty, que trabalhavam com bactérias. O experimento de Frederick Griffith é retomado por esses pesquisadores no contexto das pesquisas sobre o DNA. Eles buscavam identificar que tipo de substância era responsável pelos resultados dos experimentos de Griffith, ou seja, que substância era responsável por transferir características de um grupo de bactérias a outro. Em 1952 Alfred Hershey e Martha Chase aperfeiçoaram os experimentos e deram um novo reforço a hipótese de que o DNA é a molécula responsável pela informação hereditária, trabalhando com bacteriófagos e elementos radioativos, eles corroboraram a hipótese de que é o DNA e não as proteínas responsáveis por codificar a informação hereditária.

Dois anos antes dos experimentos Avery, MacLeod e McCarty, em 1941 dois cientistas, George Beadle (1903 -1989) e Edward Tatum (1909 – 1975), já tinham dado início ao processo de descoberta do elo que liga o gene à característica, ou seja, o que liga o genótipo à sua expressão, o fenótipo. Seus trabalhos levaram eles a propor a

hipótese conhecida como “um gene-um enzima” (MUKHERJEE, 2017). Trabalhando com o fungo *Neurospora crassa*, Beadle e Tatum exploraram as vias bioquímicas de produção de aminoácidos e outras substâncias. Eles conseguiram com seus experimentos corroborar a hipótese de que os genes codificam enzimas, enzimas essas que atuam na produção de diversos compostos na formação dos seres vivos. Apesar de estabelecer a relação entre o gene e as enzimas, eles não sabiam explicar o que acontecia em etapas intermediárias desse processo, ou seja, a forma como os genes atuavam permanecia desconhecida.

Os notáveis trabalhos de Rosalind Franklin (1920-1958). Na corrida para elucidar a estrutura tridimensional do DNA, na qual participaram diversos renomados cientistas, as fotografias obtidas por Rosalind Franklin utilizando a técnica de cristalografia por difração por Raio X foram fundamentais para a conclusão de que o DNA possuía uma estrutura helicoidal, como sugerida por Watson e Crick. Está descoberta abriu caminho para a descoberta de como o DNA conseguia armazenar e transmitir a informação genética. Watson e Crick perceberam que o emparelhamento das bases de DNA deveria ser a chave de sua função de replicador e transmissor da informação genética. O conhecimento da estrutura física do DNA indicava o mecanismo pelo qual ele poderia se replicar.

O mecanismo relativamente simples proposto por Watson e Crick dominou a genética molecular desde então, isso abriu espaço para a imaginação e ideias sobre o que é um ser vivo que, apesar do enorme avanço para a genética, poderia recair em uma visão reducionista da vida em que a genética é o fator fundamental e determinante incontestável dos seres vivos. A esperança depositada no DNA como fonte de possíveis respostas para os mais variados fenômenos biológicos, desde características morfológicas e fisiológicas a características comportamentais humanas, era inevitável.

Desde então a metáfora do DNA como sendo “o livro da vida”, metáfora que está implícita na fala do próprio Francis Crick que resumiu o dogma central dizendo: “DNA faz RNA, RNA fazem proteínas e proteínas fazem a nós”, se fez presente no imaginário. A mídia passou a divulgar esta imagem simplista da genética, como simples e determinante das características dos seres vivos, posicionando o foco da atenção apenas nos fatores genéticos e desconsiderando os demais fatores. E com o início do projeto genoma humano em 1990 ideia do dogma central como código da vida se reforçou (KELLER, 2002).

Mas os trabalhos de descoberta em genética avançaram com Jacques Lucien Monod (1910 - 1976), que pesquisava o metabolismo do açúcar em *Escherichia coli*. Em 1950, Monod juntamente com François Jacob (1920-2013) passaram a estudar o complexo mecanismo de regulação de genes em *E. coli*, o que levou à descoberta em 1961 do Operon Lac por Jacob e Monod (Joaquim e El-Hani 2010, Mukherjee 2017). Os trabalhos destes dois pesquisadores já apontavam para a não rigidez do programa genético, que estavam abertos a alterações e a uma relação dinâmica constante com o meio.

Isso deu início às descobertas que deixariam cada vez mais claro a complexidade dos sistemas de controle em genética. Esses dois pesquisadores entenderam e propuseram que o Operon Lac se comportava como um circuito dinâmico que mantinha uma relação constante com o meio, chamado de circuito genético, que depois levou a união de Lógicas Booleanas.

Epigenética

Um ramo da genética que nos fornece fortes armas contra o determinismo biológico é a epigenética, juntamente com toda a rede genética que atua na formação dos fenótipos. Esta rede, apesar de manter-se dentro de um programa que tende a manter a estabilidade, impossibilita qualquer tipo de determinação prévia dos fenótipos, tanto na formação quanto ao longo do desenvolvimento do indivíduo. Juntamente com todas as descobertas que evidenciam a complexidade do mecanismo de formação de fenótipos, tais como os genes interrompidos, splicing alternativo, pseudogenes, regulação pós-transcricional entre outros, a epigenética evidencia o caráter não determinista do DNA.

Segundo a nova síntese evolutiva a variabilidade genética das populações, sobre a qual age as pressões ambientais, são resultado de alterações no genótipo dos indivíduos. São alterações nas sequências de nucleotídeos ou bases do DNA, por meio da ocorrência das mutações ou recombinação genética, o que gera novas características que podem ser selecionadas e reproduzidas na população. A imagem do ambiente como selecionador de características não deixa de ser incompleta uma vez que esta característica seria a unidade de seleção que precisa ser definida. No caso do gene como unidade de seleção, estaríamos admitindo que o gene é sozinho o causador do fenótipo selecionado, uma abordagem centrada no gene como unidade de seleção. Esta abordagem é adotada, por exemplo, por Dawkins (2017). Os organismos para Dawkins

são os agentes passivos desse processo, o que representa uma mudança de foco quanto à unidade de seleção que no darwinismo clássico seria o próprio indivíduo e não genes como em Dawkins. Na visão de Dawkins os indivíduos são apenas veículos de linhagens de genes que disputam chances de sobrevivência e disseminação na população de indivíduos, daí a importância da capacidade dos genes em produzir cópias idênticas de si mesmos, isso possibilita a sua existência por longos períodos, algo impossível ao nível de indivíduo. Essas propriedades, longevidade, fecundidades, e fidelidade de cópia, são pontos centrais na definição de gene adotada por Dawkins tida como “um fragmento de cromossomo pequeno o bastante para durar, potencialmente, o tempo suficiente para funcionar como unidade significativa de seleção natural” (Dawkins, 2017, p. 90). Este enfoque centrado no gene converge para uma concepção de gene molecular, como unidade bioquímica funcional. Esta ideia de genótipo e ambiente como tendo uma ligação interativa é contraposta por uma visão mais complexa do desenvolvimento, uma visão construtivista e menos determinada pelo genótipo. Onde não apenas o genótipo é afetado e selecionado ou eliminado pelo ambiente, mas o genótipo também atua na construção de nichos ambientais. É a ideia de sistemas de desenvolvimento que vai além da visão dicotômica de ambiente que apenas seleciona características (LEWONTIN, 2002). A abordagem interacionista utiliza as análises de variância que visam identificar quais as porcentagens de influência genética em características humanas das mais diversas, como homossexualidade e inteligência, mas não conseguem explicar quais foram as reais causas efetivas que resultaram nessas características. A reconsideração da formação dos fenótipos como sistemas de desenvolvimento que estão em interação construtiva entre organismos e ambiente, se afetando mutuamente representa uma divergência em relação aos determinismos e chamam a atenção para o caráter contingente dos sistemas biológicos e de sua interação com o ambiente. No campo da genética a reconsideração das ideias de Conrad Waddington (1905-1975), que percebeu a importância do ambiente extra material genético na expressão de novos fenótipos, representa um grande avanço para além de uma visão centrada nos genes da determinação dos fenótipos.

A rigidez desse programa que fornece matéria prima para a evolução varia segundo a natureza da operação. Mas com o avanço dos estudos da expressão gênica novas possibilidades de expressão de novos fenótipos se mostravam não exclusivas da alteração da sequência de bases no DNA.

Apesar das tentativas mal sucedidas de cientistas demonstrarem a influência de fatores ambientais no desenvolvimento das células e a transmissão dessas características às gerações seguintes, em 1956 o biólogo britânico do desenvolvimento Conrad Waddington publicou um artigo na revista *Evolution* (WADDINGTON, 1956). Waddington conseguiu demonstrar a herança de uma característica adquirida em uma população em resposta a um estímulo ambiental (NOBLE, 2015). Waddington propunha uma visão da expressão do fenótipo como uma paisagem que poderia ser modelada por estímulos externos, como um estímulo químico, físico ou temperatura. As possibilidades seriam muitas dentro da faixa de possibilidades já existente no genótipo, resultado do processo evolutivo.

Diante da percepção de que genes, ou até cromossomos inteiros, podem ser ativados ou inativados na célula sem a alteração de bases no DNA, ou seja, sem a alteração da composição gênica, os cientistas conjecturaram que o mecanismo responsável por tal fenômeno devia estar acima dos genes, ou seja, ser epigenética, tal como propôs Waddington (MUKHERJEE, 2017).

Poderíamos definir as heranças epigenéticas de forma sucinta como de acordo como: “herança de características transmitidas por mecanismos que não envolvem diretamente a sequência nucleotídica do DNA” (REECE, WASSERMAN ET AL. 2015, p.367).

Os aspectos da epigenética podem ser estranhos sobre o ponto de vista da genética clássica e do darwinismo, pois, sugere que características que surgem por estímulos ambientais podem se fixar no genótipo das células, ocasionando assim novos fenótipos que podem ser transmitidos hereditariamente. Tendemos a ver isso, como professores do ensino médio, como um lamarckismo, hipótese científica já superada, como nos experimentos de August Weismann, de que os efeitos de um estímulo ambiental não podem ser transmitidos às gerações seguintes. Ele demonstrou a invalidade da ideia de transmissão de características adquiridas durante a vida do indivíduo para os seus descendentes cortando as caudas de ratos por várias gerações, que permaneciam nascendo com caudas, ou seja, sem herdar a característica adquirida (ausência de cauda). Isso, juntamente com as descobertas das variações aleatórias na constituição genética, foi o que constituiu um dos fundamentos principais da a nova síntese moderna ou neodarwinismo.

A importância da relação entre genótipo e ambiente na manifestação dos fenótipos atinge um novo nível de complexidade em que o ambiente não é mais só um selecionador de variações nos genes, mas atua, também, como gerador de características, não por meio de mutações ou variações no DNA, mas, por meio de mecanismos cada vez mais aleatórios e contingentes. Este aspecto da formação dos fenótipos representado pela epigenética destaca o fato de poucos conceitos da Biologia poderem ser reduzidos às leis, como é na física e na química. A física e a química são componentes dos sistemas biológicos que, apesar de atuar dentro do espectro de leis físicas e químicas, não estão limitados e determinados por essas leis. Os níveis emergentes na Biologia tornam os processos mais complexos dinâmicos e indeterminados.

Para destacarmos alguns mecanismos já conhecidos que caracterizam a epigenética podemos citar a inativação de um dos cromossomos X, ligado ao sexo, como demonstrou a geneticista britânica Mary Frances Lyon (1925-2014) por meio da modificação do DNA e das histonas por meio da adição de agrupamentos metila (-CH₃), fenômeno chamado de metilação e que regula a expressão de cromossomos sexuais X tanto masculinos como femininos. A expressão genética pode também ser modificada por acetilação das histonas (adição de um grupo -COCH₃), são exemplos de fatores epigenéticos decisivos na Biologia (REECE, WASSERMAN et al. 2015). Os padrões de metilação podem ser revertidos ou apagados durante o processo de formação dos gametas, além de poderem ser posteriormente reestabelecidos. Os fenômenos epigenéticos são complexos e fundamentais para a plasticidade dos processos de desenvolvimento dos sistemas biológicos. Esta complexidade é o que caracteriza a formação de desenvolvimento dos fenótipos.

As descobertas em epigenética são importantes na superação da visão determinista na genética, mostrando como os mecanismos responsáveis pela hereditariedade estão cada vez mais descentralizados, ou seja, na verdade podemos pensar nos sistemas biológicos mais como redes entre elementos celulares e ambientais que interagem, que se comunicam em uma interação impossível de se determinar o resultado final. Essas constatações reforça a importância dos novos debates em genética em salas de aula do ensino médio.

MATERIAL DE APOIO

VIDEOS

- Determinismo Genético - introdução

Este vídeo apresenta alguns momentos da história da genética e uma definição de Determinismo Genético, como passou a ser chamado o determinismo biológico após os avanços da genética moderna, trata-se de uma introdução breve.

- Epigenetics and the influence of our genes. (Epigenética e a influência de nossos genes)

Courtney Griffins, professora da Oklahoma Medical Research Foundation, discute nesta palestra a questão do inato e do adquirido em genética. Até para um cientista com vasto conhecimento em genética é difícil deixar de conceber o DNA como um programa que fixa características somente. Griffins destaca a importância do ambiente familiar no desenvolvimento da saúde mental e em comportamentos saudáveis nas crianças, o que antes era atribuído à fatores inatos.

ARTIGOS

- Dois significados de “gene” e o Determinismo Genético.

Este artigo discute a ideia de “gene para”. Muito comum na mídia e até mesmo nos textos de Biologia. Esta é uma ideia que associa características fenotípicas humanas complexas a um único gene, o que expressa uma visão determinista da genética. Este texto apresenta também uma discussão sobre a importância da clara diferenciação entre os diversos conceitos de gene.

- A genética em transformação: crise e revisão do conceito de gene.

Esse artigo trata da evolução do conceito de gene, conceito de extrema importância no ensino de genética. Aqui também segue a discussão sobre as visões instrumentalistas e realistas do gene e a importância desta discussão para o ensino de genética e um combate às visões deterministas da Biologia.

- Modelos invisíveis: receita para problemas no ensino de genética.

Neste artigo também se aborda os conceitos de gene e os limites da visão determinista na relação gene-genótipo. Destaca a importância do aspecto histórico e filosófico dos conceitos para o ensino de biologia.

Referências e Locais de acesso:

VIDEOS

- Sousa, V. N. (02 de 07 de 2020). *1 Video (3min). DETERMINISMO GENÉTICO - INTRODUÇÃO*. Fonte: publicado pelo canal: Vilmar Vunes: <https://www.youtube.com/watch?v=04dd6c6uZCU&t=34s>
- Griffins, C. (23 de 02 de 2012). *1 Vídeo (18:40 min). Epigenetics and the influence of our genes*. Acesso em 19 de 06 de 2020, disponível em TEDx Talks: <https://www.youtube.com/watch?v=JTBg6hqueuTg&t=25s>

ARTIGOS

- El-Hani, C. (04 de 10 de 2016). *Dois significados de “gene” e o determinismo genético*. Acesso em 04 de 07 de 2020, disponível em darwinianas: <https://darwinianas.com/2016/10/04/446/>
- JOAQUIM, Leyla Mariane; EL-HANI, Charbel Niño. A genética em transformação: crise e revisão do conceito de gene. *Sci. stud., São Paulo*, v. 8, n. 1, p. 93-128, Mar. 2010. disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-31662010000100005&lng=en&nrm=iso>. access on 04 Julho 2020.
- El-Hani, C. (07 de 09 de 2017). *Modelos invisíveis: receita para problemas no ensino de genética*. Acesso em 04 de 07 de 2020, disponível em darwinianas: <https://darwinianas.com/2017/09/05/modelos-invisiveis-receita-para-problemas-no-ensino-de-genetica/>

QUESTÕES PARA DISCUSSÃO



1- A importância de Mendel para a genética é absolutamente inegável e devemos a ele muito do que sabemos sobre hereditariedade. Para você, explicar a transmissão de características utilizando o modelo mendeliano é suficiente?

2- Aponte um motivo, na sua opinião, pelo qual o modelo de gene molecular clássico (Watson e Crick) é tão mais presente no ensino médio, apesar de todos os avanços e descobertas ocorridas de 1953 até hoje.

3- Você pode diferenciar gene molecular e ‘gene mendeliano’? Por que que essa divisão seria importante ao ensinar genética?

4- Para você os diferentes conceitos de gene, como a da genética clássica e genética molecular, ficam claros para os estudantes aos longos dos livros didáticos?

5- Qual a importância para o ensino de genética da abordagem dos conceitos de gene e a diferenciação desses conceitos?

6- Como o ensino de epigenética pode contribuir para uma visão menos determinista da Biologia, ou seja, para combater o Determinismo Genético?

A Biologia como lugar de determinação.

A teoria dos sistemas de desenvolvimento (DST) é uma teoria que contrapõe a visão reducionista centrada nos genes. A DST, critica a dicotomia genótipo-ambiente. Para o filósofo da biologia Telmo Pievani as descobertas da genética da segunda metade do século XX revela um sistema não linear de determinação, mas um sistema estratificado em diversos níveis e fortemente vinculado ao seu contexto celular e orgânico (Pievani, 2010).

6.3 CONSEQUÊNCIAS DO DETERMINISMO BIOLÓGICO

Texto base 3

Abordaremos aqui alguns fatos históricos que tinham no determinismo biológico um argumento para justificar suas teses. Os atos apresentados aqui foram escolhidos apenas com objetivo de pensarmos sobre as consequências negativas das abordagens deterministas.

O determinismo biológico pode ser expresso desde um simples teste de Quociente de inteligência (QI), que pressupõem que pessoas são biologicamente determinadas a ter um certo QI, ignorando todos os fatores ambientais e sociais que compõem os elementos que determinam o QI de uma pessoa, tanto quanto os fatores biológicos/genéticos. Mas pode estar aplicado em um contexto mais amplo, quando se expressa na ideia de que toda uma sociedade ou povo pode ser medida através do seu maior desenvolvimento biologicamente herdado. Como o determinismo biológico é uma ideia aplicada à Biologia e por consequência às sociedades humanas, ideia essa que é cada dia mais confrontada com os conhecimentos que surgem sobre os processos complexos de formação dos fenótipos, essa ideia pode ser superada por meio de uma confrontação mais crítica das ideias deterministas com as evidências que se acumulam contra ela. Contra o determinismo se aplica a afirmação de Gould (2014, p. 18) quando ele diz: “As teorias mais criativas com frequência são visões imaginativas aplicadas aos fatos, e a imaginação também deriva de uma fonte marcadamente cultural.” As ideias deterministas da Biologia se apoiam mais em ideias imaginativas e conceitos abstratos que em dados objetivos.

Podemos nos perguntar, também como professores no ensino médio, se essas ideias deterministas não estão presentes na forma como vemos e apresentamos a Biologia, e em especial a genética, em sala de aula. As abordagens simples, com velhos modelos que foram úteis em contextos passados podem ser um empecilho a um entendimento adequado dos conteúdos e suas implicações sociais hoje. A superação do determinismo biológico no ensino de biologia não está dissociada de uma melhora da qualidade do ensino de genética e biologia em geral.

Além dos testes de QI no século XX. A craniometria no século XIX, foi a ciência numérica em que se apoiou o determinismo biológico (GOULD, 20014). As tentativas de matematização de fenótipos humanos complexos é uma característica das abordagens deterministas. Outra manifestação do determinismo biológico como forma de justificar ideias imaginativas como sendo científicas foi a eugenia.

Francis Galton, primo de Charles Darwin foi o primeiro a utilizar as ideias evolucionistas de Darwin para defender a ideia de que pela seleção consciente de traços ou indivíduos desejáveis e a eliminação, por meio da esterilização, de indivíduos indesejáveis, seria possível direcionar a evolução para um futuro escolhido de forma consciente visando indivíduos com características desejáveis. O projeto eugenista de Galton de melhorar a espécie por meio da seleção de características desejáveis parte da premissa de que estas características são inatas e herdadas de forma hereditária. Está implícito nas ideias eugenistas que as características humanas complexas seriam facilmente manipuladas e selecionadas, e que a causa dessas características estaria localizada a priori no patrimônio genético da espécie. As ideias de Galton representa o início da eugenia moderna ao assimilar as ideias evolutivas e o conhecimento acumulado sobre genética. Galton rejeitava completamente qualquer papel do ambiente na formação das características, seriam as características predeterminadas e transmitidas hereditariamente, essa era a principal premissa do projeto eugenista. O esforço empreendido por Galton durante décadas mapeando dados e características das pessoas da elite inglesa, tinha como objetivos criar meios para evitar características indesejáveis, tanto características físicas como características morais.

De fato, o próprio Ernst Mayr acentuou que a da evolução revolução Darwiniana de 1859 foi talvez a mais fundamental revolução intelectual da história da humanidade, pois, não só eliminou o antropocentrismo do homem, mas, se aplicada consistentemente afeta todos os conceitos metafísicos e éticos (DE MEIRA PENNA, 2006). Mas as ideias evolucionistas somadas a uma visão determinista já existente, de que as características desejáveis são determinadas biologicamente e que essas características podem ser selecionadas e reproduzidas na população, ideias essas que foram absorvidas e utilizadas como fundamento às ideias eugênicas que marcaram de forma negativa o século XIX e XX. A eugenia ganhou status de teoria científica nestes séculos e foi utilizada como arma política para discriminações raciais e étnicas, além de ter representantes que disseminaram a eugenia como ciência em diversas partes do mundo,

inclusive no Brasil (DIWAN, 2018). A eugenia foi tão bem-sucedida que, na década de 1920, os estados americanos começaram a adotar leis de esterilização. Eventualmente, mais da metade dos estados tinha uma lei de esterilização. Essas leis determinavam que as pessoas que eram declaradas “geneticamente impróprias” em instituições deveriam ser submetidas à esterilização obrigatória. Na década de 1970, milhares de cidadãos americanos haviam sido involuntariamente esterilizados. Os de outros países foram submetidos a tratamento semelhante (VINNEY, 2019).

Para Galton as iniciativas sociais de proteção dos mais fracos seria uma atitude socialmente irresponsável que ajudaria a disseminar características indesejáveis na sociedade.

Mas considerar as motivações de Galton como pertencentes ao passado seria um erro, como expressa Jeremy Rifkin no seu livro *O século da biotecnologia*: “A vida, a muito tida como um trabalho manual de Deus, mais recentemente vista como um processo aleatório guiado pela ‘mão invisível’ da seleção natural, agora está sendo imaginada como um processo intrínseco de incontáveis possibilidades” (RIFKIN, 1999, p. 235). Rifkin destaca os avanços da biotecnologia na agricultura e na indústria, mas destaca um novo determinismo biológico munido com as armas fornecidas pelos avanços da biologia molecular, poderíamos não estar suficientemente preparados para resistir à muitas possibilidades abertas pela tecnologia do DNA recombinante. Os avanços da técnica e do conhecimento sobre o DNA traz consigo responsabilidades éticas incontornáveis diante dos impulsos eugenistas dos cientistas. Podemos citar aqui, a título de exemplo, o próprio Francis Crick, descobridor, junto com James Watson, da estrutura molecular do DNA, quando declarou em 1962, “nenhuma criança recém-nascida deveria ser reconhecida como humana antes de ter passado por certo número de testes a respeito de sua dotação genética” (GUILLEBAUD, 2008, p. 308). Se ela não tiver sucesso nestes testes, ela perderá seu direito à vida”. O projeto eugenista é o que podemos considerar um resultado do pensamento determinista aplicado na ciência e com consequências sociais. Mesmo renomados cientistas como Jaques Monod, cujos trabalhos contribuíram para o combate a uma visão determinista da biologia, não negou a possibilidade da seleção de um potencial genético mais elevado, alertando para o, segundo ele, perigo da deterioração do potencial genético do *Homo sapiens* nas sociedades modernas tendo em vista a suspensão dos fatores ambientais que atuavam sobre o *H. sapiens* nas sociedades pré-modernas. Monod chega a ver nas sociedades

modernas “uma situação perigosa que corre o risco de drenar pouco a pouco para uma elite – a qual tenderia em valor relativo a restringir-se – o potencial genético mais elevado” (MONOD, 1976, p. 182). E ainda Monod ao expressar a adequação do projeto eugenista com evolução afirma: “O único meio de <<melhorar>> a espécie humana seria operar uma seleção deliberada e severa. Quem há de querer, quem ousará empregá-lo?” (MONOD, 1976, p. 183).

Como podemos considerar os movimentos eugênicos como algo distante e que não nos ameaça mais, podemos não nos atentar para os eventos e interpretações da ciência que possibilitou o seu surgimento. O contexto histórico mudou, mas as possibilidades de interpretações deterministas da Biologia permanecem possíveis em vários níveis, e com a genética moderna e todas as suas novas possibilidades, novos desafios surgem. Uma atenção constante às abordagens deterministas e às interpretações reducionistas da genética se torna ainda mais necessária no contexto das novas descobertas e possibilidades. Uma atenção maior aos conteúdos de genética que apontam para uma realidade não deterministas da Biologia, que se tornam mais frequentes com os avanços e novas descobertas sobre os processos de formação dos fenótipos, é cada vez mais urgente no ensino de Biologia.

Apesar do fato inegável de que práticas eugênicas de seleção de características consideradas favoráveis seja prejudicial para a sociedade, os argumentos que defendem tais práticas se acumulam, mas sem utilizarem o termo eugenia, termo que foi suprimido do vocabulário, sob o argumento de trazerem melhorias de saúde e melhorias sociais diversas para as sociedades futuras (MAI; ANGERAMI, 2006; SANTOS; FONSECA; BOERY; SENA et al., 2014). As manifestações da eugenia na Biologia permanecem presentes e crescem com o avanço da técnica, podemos nos perguntar se uma técnica de seleção de embriões seria ou não uma prática de eugenia, mas, não temos dúvidas de que a motivação na seleção de embriões tem componentes de uma visão determinista da Biologia. Destacamos novamente que por trás dos propósitos de muitos cientistas reaparecem as lógicas seletivas baseadas em uma visão determinista da Biologia que reatam com a eugenia do passado.

Apesar de priorizarmos o pensamento eugenistas e suas prováveis manifestações contemporâneas como resultado de um pensamento determinista na Biologia, podemos ressaltar que um alerta sobre o determinismo biológico seria um antídoto às tentativas de apresentar a genética como a solução para todos os problemas, como nas divulgações

e simplificações da mídia sobre temas complexos da Biologia. Podemos citar como exemplo a divulgação do projeto genoma humano (PGH) pela mídia e seu impacto no imaginário das pessoas diante de uma visão reducionista da genética, centrada nos genes, é fartamente divulgada como promessa de respostas para perguntas essenciais de como entender e curar doenças e comportamentos humanos indesejáveis.

O PGH que teve início nos em 1990 e com resultados publicados em 2001 nas prestigiadas revistas *Nature* e *Science*, tendo sido finalizada em 2003 com o sequenciamento do genoma humano, teve em suas motivações iniciais uma crença em encontrar nos genes a receita definitiva para os fenótipos humanos, além de ser uma consequência inevitável dos incríveis avanços da genética molecular e da informática. Mas a visão popular que se instaura e que é explorada e divulgada pela mídia, apesar de ter suas origens científicas, acaba perdendo seu rigor científico e se tornando fonte de um determinismo genético que, no meio científico, acabou sendo frustrado com as pesquisas sequentes ao PGH e a constatação de que genes não determinam fenótipos, mas, são os genes componentes essenciais no complexo processo de formação dos fenótipos.

À medida que os conhecimentos genéticos se aprofundam a ideia que fica cada vez mais evidente é que, ao contrário do que se buscava antes do PGH, o que se mostra evidente é uma rede complexa de interação entre o genótipo com o próprio genótipo e deste com o ambiente, tendo como resultado um vasto campo de possibilidade de fenótipos que não são de forma alguma determinados previamente (GUILLEDAUD, 2008). Corroborando as denúncias feitas por Richard Lewontin, bem antes do início do PGH, à visão determinista na genética.

A biologia moderna do século XXI rejeita o determinismo genético e biológico, mas uma crença exagerada no poder dos genes na determinação de características continua vigente e permeia tanto o ensino de Biologia quanto a sua divulgação nos canais de mídia. Quando apresentamos a genética utilizando os modelos de pesquisa ou os trabalhos pioneiros da biologia molecular sem a devida contextualização destes modelos não estamos apresentando o real mecanismo de formação dos fenótipos, mas um modelo teórico de estudo dos genes e seus resultados hipotéticos (JAMIESON; RADICK, 2017). Ao não contextualizarmos os modelos como expressões de uma época, como são os trabalhos de Mendel, podemos contribuir para visão determinista da Biologia. O essencialismo genético que põem obstáculos à aprendizagem efetiva da

Biologia apenas disseminam o que Lewontin chamou de biologia como ideologia, e que mantém estreita relação com as cegueiras ideológicas do passado, como a velha eugenia. O debate sobre o determinismo biológico está diretamente conectado às questões epistemológicas da ciência. Com o avanço da técnica e dos produtos decorrentes dela, o avanço e refinamento das técnicas passam a ocupar toda a atenção dos cientistas e professores, bem como a aprendizagem dos mecanismos biológicos que possibilita o avanço técnico, sendo os aspectos epistemológicos e históricos das ciências esquecidos e seus problemas epistemológicos se tornam desconhecidos. Mas as implicações sociais, econômica e políticas das novas descobertas permanecem surgindo na Biologia.

As extrapolações “científicas” como a Eugenia não foram percebidas na época em que foram propostas como sendo insensatas, o que nos alerta para a importância de incluirmos as discussões sobre temas que combatem as visões deterministas da biologia e que a ver os genes como único condicionante das características dos indivíduos.

MATERIAL DE APOIO

ARTIGOS

- A Eugenia Natural de Darwin: Genética e Evolução de uma Ideia.

Este texto é uma entrevista realizada pelo jornalista Rui Sintra com Prof. Dr. Marcelo Briones, o até então Coordenador do Laboratório de Genômica Evolutiva e Biocomplexidade da Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP). Briones discute na entrevista a relação entre as ideias eugenistas de Galton com a teoria da evolução de Darwin, e como teoria da evolução foi utilizada para dar caráter científico às ideias eugenistas deterministas que já existiam antes do surgimento da teoria da evolução por seleção natural de Darwin. Dr. Briones também destaca a importância de pensarmos de forma crítica sobre os avanços dos estudos em genética e como as ideias eugenistas continuam ativas hoje.

- Problemas éticos do Determinismo Genético.

Este artigo aborda os perigos das ideias vinculadas a uma visão determinista da genética, como uma forma de ideologia científica que forneceu a base intelectual para discriminação e segregação racial e social no passado e que não se tem fundamento nas descobertas da genética moderna. O texto destaca também um ressurgimento do Determinismo Genético, bem mais sutil e imperceptível, como resultados do rápido avanço e descobertas da genética molecular. O texto aborda também a crescente discriminação de pacientes em planos de saúde e em ambientes de trabalho baseado no seu perfil genético, e traz a questão de se isso não seria uma forma de eugenia.

- O projeto genoma humano e os perigos do determinismo reducionista biológico na explicação do comportamento: uma análise behaviorista radical.

Este artigo aborda os perigos das tentativas de encontrar explicações para comportamentos humanos complexos nos genes. Este texto pode ser um complemento ao artigo anterior.

como o determinismo biológico no ensino de Biologia.

Referências e Locais de acesso:

VÍDEOS

Gould, S. J. (11 de 09 de 2016). 1 Video (7 min). QI. A inteligência é inata ou adquirida? Acesso em 11 de 07 de 2020, disponível em ivanbalducci: <https://www.youtube.com/watch?v=0aEw73WZQpo>

Weikart, R. (14 de 03 de 2019). 1 Video (24min). My Genes Made Me Do It: Biological Determinism. Acesso em 01 de 07 de 2020, disponível em FOCLOnline: https://www.youtube.com/watch?v=QFwwot75_Sg&t=674s

VÍDEOS

- QI. A inteligência é inata ou adquirida?

Stephen Jay Gould neste vídeo fala sobre a possibilidades de se poder medir a inteligência de seres humanas por meio de um teste de coeficiente de inteligência QI. Da utilização deste tipo de teste para justificar discriminações raciais nos Estados Unidos. Discute também as ideias de inato e adquirido na formação da inteligência, um fenótipo que, como todos os outros é irredutível apenas a fatores genéticos ou ambientais.

- My Genes Made Me Do It: Biological Determinism.

Richard Weikart é professor de história na California State University. Discute o determinismo biológico, bem como as explicações de fenótipos comportamentais humanos baseado nos genes e como essas ideias, quando assimiladas pela sociedade, podem ter implicações morais e sociais graves. Discute as afirmações polêmicas baseadas em uma visão determinista de alguns cientistas que afirmam que comportamentos violentos como o estupro foi selecionado pela evolução e estaria fixado no nosso DNA.

ARTIGOS

Sintra, R. (16 de 03 de 2018). *A Eugenia Natural de Darwin: Genética e Evolução de uma Ideia*. Acesso em 20 de 06 de 2020, disponível em ciencia19h: <http://ciencia19h.ifsc.usp.br/ciencia19hwp/a-eugenia-natural-de-darwin-genetica-e-evolucao-de-uma-ideia-2/>

Penchaszadeh, V. B. (03 de 30 de 2005). Problemas éticos do determinismo genético. *revista bioetica*, v. 12, 61-68. Fonte: http://revistabioetica.cfm.org.br/index.php/revista_bioetica/article/view/121/126

CARVALHO NETO, Marcus Bentes de et al. (01 de 06 de 2003). O projeto genoma humano e os perigos do determinismo reducionista biológico na explicação do comportamento uma análise behaviorista radical. *Revista Brasileira de Terapia Comportamental e Cognitiva*, pp. 41-56. Acesso em 13 de 05 de 2020, disponível em http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-55452003000100006



QUESTÕES PARA DISCUSSÃO

Questão 1- A eugenia, termo utilizado pela por Francis Galton para designar os estudos que

Determinismo e comportamento humano.

O determinismo biológico está no centro de uma importante discussão sobre a natureza humana. Alguns defendem a não existência de uma natureza humana, pelo menos determinada biologicamente, assim o comportamento humano seria de natureza puramente social e não biológica. Mas se existe características comuns a todos os humanos, de forma a constituir uma natureza humana, quanto seria determinado pela genética?

François Jacob expressou sobre este tema. Para Jacob (2001, p.320) “Muitos quadros da natureza humana devem inserir-se em um quadro fixado pelos vinte e três cromossomos que constituem o patrimônio hereditário do homem. Mas, então, qual é a rigidez desse quadro? Quais são as restrições impostas ao espírito humano pelo programa genético?” E ainda Wilson (2018, p.108) também expressa assim o problema: “Hoje acredita-se amplamente que o comportamento humano possui forte componente genético. O instinto e a natureza humana são reais, embora ainda se discuta quão profundos e contundentes eles são”

visavam selecionar as características desejáveis entre os indivíduos, tais como inteligência, porte físico, e disseminar estas características na população por meio do cruzamento de indivíduos que as possuía. E a eliminação das características indesejáveis por meio de métodos que evite a reprodução de indivíduos considerados “não aptos”. Para você, existe alguma relação entre as ideias de Francis Galton e do seu primo Darwin?

Questão 2- Apesar do termo eugenia não ser mais utilizado, você acha que ainda existem práticas que podem ser consideradas eugênicas na biologia moderna?

Questão 3- Por que o projeto genoma humano (PGH), segundo alguns autores como (LEITE, 2006; LEWONTIN, 2002; LEWONTIN, 2010), acabou popularizando uma visão determinista da genética?

Questão 4- Segundo GOULD, como o determinismo biológico pode ser utilizado como justificativa para diferenças sociais e socioeconômicas entre os grupos sociais?

7 SUGESTÃO DE RESPOSTA ÀS QUESTÕES DISCURSIVAS

Abaixo são sugeridas algumas sugestões de respostas, que não precisam ser tomadas como as “respostas corretas”. São apenas sugestões baseadas nos textos sugeridos.

7.1- Origens do pensamento determinista

Questão 1

R: Porque para as formas aristotélicas são, segundo ele, essencialmente imutáveis. Determinadas previamente não há participação do acaso ou eventos novos nesse processo. O desenvolvimento dos organismos tende a um fim que é imutável.

Questão 2

R: Para Aristóteles o desenvolvimento de todo ser vivo é guiado por uma forma que é imanente a cada ser vivo, o que ele chamou de “causa formal”. A ideia de causa que guia o desenvolvimento dos seres vivos é análoga à ideia de DNA que

contém as informações para o desenvolvimento do organismo. Por isso alguns biólogos no século XX consideraram Aristóteles como o precursor da descoberta do DNA. A relação das ideias de Aristóteles com os conceitos da genética moderna é reforçada ainda pelos seus trabalhos sobre embriologia em que o espermatozoário fornecido pelo pai atua no embrião como um programa, dirigindo o desenvolvimento.

Questão 3

R: - devido ao papel principal do acaso e da aleatoriedade nos sistemas biológicos.

- Devido aos novos níveis de sistemas emergentes que surgem a cada nível de organização.

- Devido à grande complexidade dos sistemas biológicos. Apesar da evidente importância da matemática para a Biologia assim como para outras ciências, a lógica dos sistemas biológicos não é redutível a uma pura lógica matemática.

Questão 4

R: Os sistemas biológicos além de serem causados por processos naturais e leis naturais comuns aos processos físicos e químicos, estariam sujeitos também a programas genéticos. Este aspecto dual, segundo Mayr, é o que difere os sistemas biológicos dos sistemas inanimados.

7.2- Dos fatores mendelianos ao Determinismo

Genético. Questão 1

R: pessoal

Questão 2

R: pessoal

Questão 3

R: Gene molecular seria um segmento de DNA que codifique um polipeptídeo. Gene Mendeliano, segundo Fogel (1990), seria uma ideia abstrata de gene, uma

hipótese apoiada em dados matemáticos, mas sem comprovação material. Era um conceito de unidade hereditária que se adequava ao método de pesquisa de Mendel, os fatores. A separação das duas concepções de gene é importante pois o entendimento do conceito instrumental como algo que corresponde ao mundo material real, ou apresentação dos dois modelos como sendo equivalentes, pode gerar uma visão determinista do papel dos genes na formação dos fenótipos. Portanto, é importante deixar claro para os estudantes que se trata de modelos diferentes de gene. Ressalta-se ainda que ambos os modelos são restritivos e incompletos.

Questão 4

R: pessoal.

Questão 5

R: Alguns conceitos de gene têm importância instrumental, ou seja, utilizamos como ferramenta teórica para realizarmos cálculos probabilísticos em genética, como os cruzamentos genéticos em heredogramas envolvendo as leis de Mendel. Esses modelos instrumentais apresentam uma ideia determinista da genética, pois passam a ideia de que existe um gene para cada característica. Por isso é importante abordarmos os diversos conceitos deixando claro que os genes reais são bem mais complexos e não determinam diretamente uma característica. A expressão gênica é complexa até mesmo em heranças monogênicas.

Questão 6

A herança epigenética, por não ter como foco principal os genes, mas sim o ambiente e demais fatores contingentes e ocasionais do desenvolvimento, nos faz pensar melhor no ambiente como fator importante na formação dos fenótipos. Além de evidenciar melhor a diversidade de possibilidades na formação destes fenótipos, diferente de uma visão centrada na determinação dos genes.

7.3- Que tipo de ideias o pensamento determinista pode resultar.

Questão 1

R: Apesar de Galton utilizar termos da teoria evolutiva, tais como seleção de características mais vantajosas, ele o faz a partir de concepções subjetivas baseadas

em preconceitos raciais e ideias das ciências sociais de sua época que não mantem nenhuma relação com o darwinismo tal como proposto por Darwin. A eugenia foi uma distorção indevida da Biologia para justificar preconceitos raciais de uma época.

Questão 2

R: pessoal

Questão 3

R: A forma com que o PGH foi divulgado na mídia passava uma visão superestimada do alcance dos seus resultados. Passou-se a ideia de que a partir do conhecimento dos genes viria respostas para muitas perguntas fundamentais, como cura de doenças e explicações de características humanas. Isso alimentou uma visão determinista que atribuía aos genes a causa fundamental para características complexas que são resultado de muitos elementos, entre eles os genes.

Questão 4

R: Segundo o determinismo biológico, principalmente durante o século XIX e XX, essas diferenças sociais e entre grupos observados na sociedade derivam de distinções herdadas e inatas, e que nesse sentido, a sociedade é um reflexo fiel da Biologia, desconsiderando os fatores ambientais e socioeconômicos que também atuam na sociedade. Desta forma usa-se, o discurso científico para justificar diferenças sociais e socioeconômicas entre os grupos sociais.

8 ALGUMAS INDICAÇÕES DE LEITURA ÚTEIS PARA PENSAR MELHOR SOBRE O DETERMINISMO BIOLÓGICO

<p>A falsa medida do homem / Stephen Jay Gould; Tradução Valter Lellis Siqueira; São Paulo: Livraria Martins Fontes Editora Ltda, 2014</p>	<p>Neste livro o paleontólogo Stephen Jay Gould nos apresenta um estudo das origens do determinismo biológico. Faz um relato das aplicações do determinismo biológico para justificar discriminação racial, política, e as desigualdades sociais como inevitáveis resultados da biologia dos seres vivos.</p>
<p>A tripla hélice: gene, organismo e ambiente / Richard Lewontin; tradução José Veiga filho; São Paulo: Companhia das letras, 2002.</p>	<p>Lewontin chama atenção para a importância da relação dos organismos como o ambiente. Não apenas no sentido tradicional em que o ambiente age sobre o indivíduo, mas na influência recíproca entre indivíduo e ambiente. Lewontin critica o determinismo genético e sua abordagem reducionista centrada nos genes.</p>
<p>Biologia como ideologia: a doutrina do DNA / R.C. Lewontin; tradução F.A. Moura Duarte, Francine Muniz, José Tadeu Sales. Ribeirão Preto: FUNPEC- RP, 2000.</p>	<p>R.C. Lewontin aborda como a Biologia foi utilizada como para a disseminação de ideias que não tinha fundamento na ciência, mas em ideologias, crenças, e opiniões pessoais dos cientistas. Uma dessas ideias, que ele chama de ideologias científicas, é o determinismo biológico.</p>
<p>O acaso e a necessidade: ensaio sobre a filosofia natural da biologia moderna / Jacques Monod; tradução Bruno Palma e Pedro de Sena Madureira. Petrópolis-RJ: editora Vozes LTDA, 1976.</p>	<p>Jacques Monod destaca o potencial das descobertas da Biologia em afetar diretamente o campo social, filosófico, religioso e até mesmo o campo político. Monod critica as abordagens teleológicas que atribuem finalidade aos processos biológicos. Para Monod as propriedades dos seres vivos devem ser explicadas a partir do acaso que governa as bases microfísicas dos sistemas vivos. Esta leitura é um clássico da Biologia que nos faz pensar sobre diversos temas relacionados às bases epistemológicas da Biologia.</p>

<p>Biologia, ciência única: reflexões sobre a autonomia de uma disciplina científica/ Ernst Mayr; tradução Marcelo Leite. São Paulo: Companhia das Letras, 2005.</p>	<p>Ernst Mayr fala das singularidades da biologia, o que a torna uma ciência única. Mayr aponta argumentos contra o determinismo, o vitalismo, a teleologia. Todas essas características foram indevidamente atribuídas à Biologia.</p>
<p>O século do Gene / Evelyn Fox Keller; tradução Nelson Vaz. Belo Horizonte: Crisálidas, 2002.</p>	<p>Evelyn Fox Keller faz um percurso pela história da genética durante o século XX, o qual ela chama de século do gene. Keller mostra como a ideia de gene dominou o século XX. Além de analisar os efeitos surpreendentes do projeto genoma humano, tanto no imaginário das pessoas como para a biologia seguinte.</p>

8 APÊNDICE

APÊNDICE A - Questionário aplicado aos professores

CONVITE

Este é um convite para você participar do projeto “Determinismo Biológico entre Professores de Biologia do Ensino Médio.” desenvolvido por VILMAR NUNES DE SOUSA, do Programa de Pós-graduação - PROFBIO. A sua contribuição é fundamental para que possamos alcançar o entendimento sobre concepções acerca do determinismo biológico e conceitos de genética relacionados. Responda o questionário! Você será nosso participante de pesquisa quando finalizar e enviar o forms, de modo que pode interromper o questionário a qualquer momento, caso queira desistir. Você levará em média sete inutos (7 min) para responder ao questionário. Posso esclarecer qualquer dúvida, antes do preenchimento (sousa.vilmar15@gmail.com), e me comprometo em assegurar o máximo sigilo sobre sua identificação, e usaremos os dados apenas para essa investigação, os quais serão base para parte

3- Defina gene, de uma forma que seja satisfatória para você. *

4- Você já ouviu falar em epigenética? *

Marcar apenas uma oval.

SIM

NÃO

Se sim, você poderia definir?

5 - Caso tenha respondido Sim à pergunta acima, responda: Você já discutiu epigenética alguma vez com seus alunos? *

Marcar apenas uma oval.

Sim, constantemente.

Sim, mas poucas vezes.

Não, nunca discuti.

6 - Todas as características físicas e comportamentais de uma pessoa são determinadas pelos seus genes, estruturas presentes no seu DNA. Você faria alguma crítica ou alteração na afirmação acima? *

Marcar apenas uma oval.

SIM

NÃO
