

O destino está nos genes! Os genes estão no corpo! Alunos de Ciências Biológicas e o determinismo genético

**Luca Ribeiro Mendes Nicola, Michelle Rezende Duarte e Edson
Pereira Silva**

Laboratório de Genética Marinha e Evolução, Instituto de Biologia, Universidade Federal Fluminense (UFF), Brasil. E-mails: luca.nicola2233@gmail.com, michellerezendeduarte@yahoo.com.br, edsonpereirasilva@id.uff.br.

Resumo: A ideia de que as desigualdades sociais apresentam uma base biológica e genética é, recorrentemente, utilizada para justificar as falhas do sistema social. Contudo, o determinismo biológico-genético apresenta pressupostos falsos, erros conceituais e preconceito. Neste trabalho foi investigada a influência dessas ideias em estudantes de graduação em Ciências Biológicas. A pesquisa de cunho descritivo-exploratório trabalhou uma amostra de 229 alunos (Bacharelado e Licenciatura) de uma universidade pública (Rio de Janeiro, Brasil) para três momentos temporais (2001-2002, 2009-2010 e 2018-2019). Os dados foram obtidos a partir de questionário com questões fechadas e abertas numa amostragem não probabilística. A análise de dados foi quali-quantitativa, embora testes de hipóteses tenham sido realizados com base nos achados (U-Mann-Whitney e Kruskal-Wallis). Os resultados não indicaram diferenças estatisticamente significativas nas respostas entre os tempos analisados. Os alunos apresentaram um baixo conhecimento sobre conceitos básicos da genética (Modelo Mendeliano, Teoria Cromossômica, Biologia Molecular e Evolução). A influência da falácia determinista se fez notar na adesão dos alunos a uma noção de "corporeidade" na qual a determinação genética é associada à proximidade das características ao corpo. Neste sentido, é importante um esforço de alfabetização científica para a cidadania, o que está para além da simples transmissão de conhecimento.

Palavras chave: determinismo biológico, fenótipo, corporeidade, genética, letramento científico.

Title: The fate is in the genes! Genes are in the body! The influence of the ideas of genetic determinism in biology undergraduate students

Abstract: The idea that inequalities in society are explained by biological and genetic differences among individuals is recurrently used to justify failures in the social system. However, the biological-genetic determinism is based on false assumptions, conceptual errors and blunt prejudice. The main aim of this research was to investigate the influence of such ideas on undergraduate Biology students. An open-ended questionnaire was used to explore 229 students' knowledge on basic genetic concepts as well as their susceptibility to two different genetic deterministic arguments (a non-probabilistic sample). The analysis includes three different periods of time (2001-2002, 2009-2010 e 2018-2019). Data analysis was quali-

quantitative, although hypothesis tests were performed based on findings (U-Mann-Whitney and Kruskal-Wallis). The results did not indicate statistically significant differences in the responses between the analyzed times. The students presented a low knowledge about basic concepts of genetics (Mendelian Model, Chromosomal Theory, Molecular Biology and Evolution). The influence of the deterministic fallacy was noted in the students' adherence to a notion of "corporeality" in which genetic determination is associated with the proximity of characteristics to the body. In this sense, an effort of scientific literacy for citizenship is important, which goes beyond the simple transmission of knowledge.

Keywords: biological determinism, genetics, phenotype, corporeality, scientific literacy.

Introdução

Em sua primeira agenda pública como candidato à vice-presidência da República, o general Antônio Hamilton Mourão (1953-atual) explicou que a herança biológica do povo brasileiro trazia a tendência de querer privilégios dos ibéricos, a indolência advinda dos indígenas e a malandragem de origem africana (retirado de: <https://oglobo.globo.com/brasil/vice-de-bolsonaro-diz-que-brasileiro-herdou-indolencia-do-indio-malandragem-do-africano-22955042>). Ao ser questionado sobre sua assertiva, o militar da reserva reafirmou: "*Isso faz parte do DNA do brasileiro. Nós não somos nenhuma raça pura. Somos uma amálgama dessas culturas*". Essa ideia de que as características de numa população podem ser reduzidas a sua herança biológica, não é algo novo, mas permeia o senso comum e, também, as ciências desde antes do general nascer e é chamada de determinismo genético (Gildersleeve e Crowden, 2019; Lewontin, 1976).

Exemplos do determinismo podem ser encontrados já em Esparta, na Grécia Antiga, por exemplo, onde bebês considerados malformados eram jogados em um precipício (Durant, 1966). No século XVIII, médicos ingleses afirmavam que mulheres submetidas à educação formal se tornariam estéreis devido a uma competição entre o cérebro e o útero (Lewontin, 1982). No ano de 1924, nos Estados Unidos da América (EUA), foi aprovada uma lei que restringia a imigração vinda de países do leste europeu, devido ao suposto estoque genético inferior que poderia poluir, por miscigenação, o conteúdo genético americano (Allen, 1997). Ainda nos EUA, na década de 1990, um estudo governamental associava a criminalidade em cidades interioranas a sua alta frequência de afrodescendentes (Allen, 2001). E, no início dos anos 2000, com um investimento multimilionário, foi finalizado o Projeto Genoma Humano que prometia revelar os segredos da "natureza" humana (Dar-Nimrod e Heine, 2011). Apesar de todas essas teorias e alegações terem sido desacreditadas cientificamente em algum momento, a grande ideia da determinação biológica das diferenças humanas não foi superada e, pelo contrário, vem mudando a sua causa material aristotélica (Solha e Silva, 2004) que, hoje, encontrou nos genes sua forma mais robusta (Teixeira e Silva, 2017a, b).

Esse tipo de pensamento se baseia numa visão simplificada da expressão gênica, na qual características e genes têm uma relação de um para um, ou seja, que a expressão de uma característica (ou doença) pode ser

determinada por um gene específico (Gericke et al, 2017; Stern, Kampourakis, Delaval e Müller, 2020). O problema é que, para organismos eucarióticos, relações monogênicas foram descritas para pouquíssimas características, com a grande maioria pertencendo à classe das características com origem poligênica, para as quais a interação entre genes de diferentes *loci* contribuem para a formação do fenótipo (Lewontin, 2011; Pierce, 2016). E, mesmo nesses casos, é difícil inferir a interação entre genes e ambiente no desenvolvimento da característica, ou seja, a norma de reação dos genótipos (Lewontin, 1982; Pierce, 2016). É por conta disso que a tarefa de determinar a contribuição de genes específicos para as características fenotípicas é uma tarefa laboriosa que, muitas vezes, não é passível de ser cumprida (Keller, 2000; Moore e Shenk, 2017). Mais que isso, dada a complexidade inerente à herança de características comportamentais (Rose, 2009; Rose, Lewontin e Kamin, 1984;), a afirmação de que a indolência ou a malandragem são genéticas está menos fundada em evidências científicas e mais baseada em convicções de senso comum.

Apesar disso, o discurso determinista genético é recorrente tanto no discurso social (Keller, 2000, Teixeira e Silva, 2017a, b) quanto midiático (Camargo e Camargo, 2010; Gildersleeve e Crowden, 2019; Heine, Dar-Nimrod, Cheung e Proulx, 2017; Phelan, Link e Feldman, 2013). Uma explicação para isso é que essas ideias são consequência de um baixo nível de conhecimento sobre genética e genômica (Castéra e Clément, 2014). Outras evidências indicam uma relação entre determinismo genético e alguns fatores sociais como religião, gênero e *status* socioeconômico (Parrott et al, 2004; Shostak, Freese, Link e Phelan, 2009). Independente da explicação, muito relevante é o fato de que quanto maior a crença no determinismo genético, maior a predisposição das pessoas para atitudes intolerantes como racismo, sexismo e discriminação contra os mais pobres (Haslam, Rotchschild e Ernst, 2002; Heine et al, 2017; Keller, 2005). Seja qual for a causa, o discurso determinista se mostra resistente à mudança entre o público em geral, alunos e professores de todos os níveis de ensino (Antonelli-Ponti, Versuti e da Silva, 2018; Belmiro, Deniz e Barros, 2017; Castéra, Sarapuu, e Clément, 2013; Castéra e Clément, 2014; Chapman et al, 2018; Condit, Parrot, Harris, Lynch e Dubriwny, 2004; Gericke et al, 2017; Joaquim, 2007; Keller, 2005; Martschenko, 2019; Morrin-Chassé, 2014; Parrott et al, 2004; Shostak et al, 2009; Suhay e Jayaratne, 2013).

Uma das características marcantes do discurso determinista é a sua consonância com os avanços científicos mais recentes (genética molecular, genômica, biotecnologia etc.) e, algumas vezes, com o apoio de celebridades como James Watson (1928-atual) que, ao falar do Projeto Genoma Humano, afirmou que *"...um livro de instruções mais importante do que esse nunca será achado em seres humanos.(...) que irá, não só nos ajudar a entender como funcionamos como seres humanos saudáveis, mas também explicará o papel de fatores genéticos numa série de doenças como câncer, Alzheimer, e esquizofrenia..."* (Watson, 1990). Afirmativas no mínimo precipitadas do Prêmio Nobel de Medicina (1962) e que colocam em evidência a forma como premissas (falsas) e promessas (enganosas) do determinismo genético vêm a público.

Mais do que um conjunto de ideias pseudocientíficas, o determinismo genético representa, também, uma agenda conservadora (Gould, 1981; Heine et al, 2017; Lewontin, 1982; Rose et al, 1984; Waggoner e Uller, 2015). Nesse sentido, sua influência nas esferas pública, científica, educacional, social e política não podem ser subestimadas. Do ponto de vista educacional, sua influência é um problema, uma vez que se funda em pressupostos equivocados, erros conceituais graves e nas mais diferentes formas de preconceito (Lewontin, 2011). Por conta disso, esse trabalho se dedicou a analisar a influência das ideias deterministas em alunos (Bacharelado e Licenciatura) de um curso de ciências biológicas, visto que, num contexto no qual a sociedade é fortemente norteadas pelas informações advindas da atividade científica, esses jovens representam uma parte daqueles que estarão diretamente envolvidos na produção do conhecimento (pesquisadores) e no letramento científico da sociedade (professores).

Metodologia

O presente trabalho se refere a uma amostra de 229 alunos de um curso de Ciências Biológicas (Bacharelado e Licenciatura) de uma universidade pública localizada no estado do Rio de Janeiro (Brasil). O levantamento de dados foi realizado por meio de um questionário com questões fechadas e abertas numa amostragem não probabilística. A análise de dados foi feita de forma quali-quantitativa. Desta forma, esta pesquisa se caracterizou como descritiva e exploratória, embora testes de hipóteses tenham sido realizados com base nos achados. A estatística descritiva dos dados (médias, modas, medianas e desvios padrão) foi realizada com o programa *Excel for Windows*[®] e os resultados apresentados na forma de gráficos de barras (gráficos indicados para apresentação de resultados de diversas variáveis qualitativas), de setores (gráficos indicados para apresentar o resultado de um número pequeno de variáveis qualitativas) e de setores em barras (para realização de comparações entre diferentes unidades amostrais). Os testes de hipóteses não paramétricos U-Mann-Whitney (para comparação de duas amostras) e Kruskal-Wallis (para comparação de mais de duas amostras) foram realizados no programa PAST 2.08 (Hammer et al, 2001). O nível de significância considerado para rejeição das hipóteses nulas foi de 0.05. A escolha por testes não-paramétricos se deveu ao fato de que as amostras não se adequavam às premissas de distribuição normal e homocedasticidade da variância, que são exigências para realização de testes paramétricos. Todas as análises foram definidas em conformidade com Vieira (2016, 2018). A seguir cada uma das etapas específicas de coleta e análise de dados são detalhadas.

Elaboração do questionário

Foi produzido um questionário para averiguar o quanto estudantes de ciências biológicas estão inclinados a aceitar argumentos do determinismo genético. A opção pelo instrumento questionário se deveu ao fato de que, segundo Günther (2003), essa é uma forma rápida de levantamento de dados que permite a amostragem de um grande número de pessoas, garantindo, assim, uma amostra representativa do universo que se quer investigar. Dessa forma, os questionários permitem a exploração do imaginário de uma parcela específica da população (público-alvo) a respeito de determinado tema.

O questionário foi dividido em duas partes. A primeira era composta de perguntas abertas sobre dados como gênero, idade, ocupação, etc., as quais os alunos deveriam preencher brevemente. Heigham e Croker (2009) argumentam que a utilização deste tipo de pergunta está pautada no interesse do pesquisador em caracterizar a sua amostra obtendo informações sobre alguns fatos específicos como, por exemplo, a idade dos estudantes. Essa primeira parte possuía, também, uma seção de perguntas de sim/não com a possibilidade de complementação que tinham por objetivo sondar quais os recursos extracurriculares utilizados pelos alunos para obter informações sobre Genética e Evolução.

A segunda parte do questionário era composta de cinco questões abertas ou discursivas. A opção por questões abertas para essa seção se deu, pois elas permitem que os participantes expressem a sua opinião sem a influência do investigador, indicando o seu nível de familiaridade com o assunto (Foddy, 1993). Essa característica é particularmente interessante, dado que essa pesquisa buscou amostrar, o tanto quanto possível, a diversidade de ideias presentes na amostra de alunos trabalhada.

Na primeira questão era ofertada uma lista com palavras referentes a quatro áreas do conhecimento (Modelo Mendeliano, Teoria Cromossômica, Biologia Molecular e Evolução), as quais os alunos deveriam definir brevemente. A segunda questão, por sua vez, solicitava que os alunos dissessem a contribuição relativa dos genes (em porcentagem) para uma lista que incluía características de três tipos: não herdáveis, de herdabilidade definida e com herdabilidade não fundamentada. A terceira questão pedia que genótipo e fenótipo fossem diferenciados. As duas últimas questões apresentavam situações problema com a proposição de uma solução determinista, para a qual os alunos eram solicitados a se posicionar concordando ou discordando, bem como justificando as suas respostas. No Quadro 1 o questionário é apresentado.

Aplicação do questionário

Os questionários foram aplicados como pré-teste da disciplina de Evolução do ciclo básico de um curso de graduação em Ciências Biológicas. Foram usados questionários relativos a seis semestres englobando 18 anos no tempo (segundo semestre de 2001; primeiro semestre de 2002; segundo semestre de 2009; primeiro semestre de 2010; segundo semestre de 2018; primeiro semestre de 2019). No total, 229 estudantes participaram da pesquisa.

Todos os participantes preencheram os questionários na presença de um dos autores do artigo. Após a aplicação dos questionários, os alunos assinaram um Termo de Assentimento, no qual eles eram informados da pesquisa que estava sendo realizada, assentiam em participar dela e tinham seu anonimato garantido. O tempo de preenchimento dos questionários variou entre 50-60 min.

Análise dos questionários

A análise dos questionários seguiu alguns procedimentos. Primeiramente foi realizada uma leitura geral das respostas dos alunos, o que permitiu a familiaridade com a diversidade de respostas encontradas. A partir disso foi possível passar a identificar palavras e/ou temas similares indicativos de um

Resultados

Caracterização da amostra

Dos 229 estudantes que compõem os participantes dessa pesquisa, 148 se identificaram com o gênero feminino e 77 com o gênero masculino. Duas pessoas, no entanto, não se identificaram com nenhum dos dois gêneros, evidenciando uma limitação do questionário, que não apresentava opções para além do binarismo tradicional de gênero. A idade dos participantes variou de 18 a 48 anos, com prevalência na faixa dos 19 a 22 anos (média = 21.07, desvio padrão = 2.59, moda = 20 e mediana = 20). A maioria dos estudantes (77.5%) se encontrava no 4º e 5º semestres na progressão do curso. Ao serem questionados se exerciam algum trabalho, 79% responderam que não. Estes resultados estão sintetizados na Figura 1.

Os recursos extracurriculares mais relevantes indicados pelos alunos foram televisão, revistas, escola e cinema, que juntos somaram mais de 80% de todas as respostas e, ao retirar a "escola", as outras três categorias ainda são responsáveis por quase 70% do total. Dentre os programas e canais de televisão, o canal *Discovery Channel* foi citado em mais de 40% das respostas. Quanto às revistas mencionadas, a *Superinteressante* apareceu em um número de respostas quase três vezes maior que a *Ciência Hoje*. Em relação aos filmes, *Jurassic Park*, uma obra de ficção científica que aborda a criação de dinossauros a partir de uma amostra de DNA fossilizado (Crichton, 1990), representou 30% do total de respostas.

Padrões de respostas

O sistema de codificação aplicado às questões 1 (definição das palavras de diferentes áreas do conhecimento da genética) e 3 (diferenciação entre genótipo e fenótipo), produziu pontuações que variaram entre 0 e 4 representando as categorias: não respondeu, resposta sem sentido, respondeu mal, respondeu razoável e respondeu bem, respectivamente. Sendo que, em relação à questão um, quando a definição de uma palavra dada por um aluno apresentava conceitos de outras áreas do conhecimento, a pontuação era contabilizada para a área a qual a palavra pertencia e para a área da qual os conceitos foram importados. Exemplificando, se ao definir a palavra "gen", uma resposta contivesse palavras como DNA ou informação, a pontuação era somada tanto para a área "Modelo Mendeliano" quanto para área de "Biologia Molecular".

Para as respostas da questão dois, utilizando outro estudo como base (Gericke et al, 2017), foi estabelecido um sistema de pontuação específico para cada grupo de características com diferentes herdabilidades. Para as respostas referentes às características com herdabilidade definida (cor da pele, cor dos olhos, hemofilia e daltonismo) foram consideradas adequadas porcentagens que estivessem de acordo com os altos índices de herdabilidade atribuídos às características desse grupo (Barsh, 2003; Liu et al, 2009; Pierce, 2016). A escolha dessas características para compor esse grupo se justifica por serem características físicas e de natureza qualitativa, sendo possível estimar a sua ausência ou presença de modo objetivo e, portanto, apresentando estimativas de herdabilidade bem definidas na literatura. Por exemplo, uma resposta que atribuiu um valor de 90% de contribuição genética para o daltonismo foi considerada adequada, logo ela

recebeu uma pontuação alta. Dessa forma, a pontuação definida foi: 0 (não respondeu); 1 (característica com baixa herdabilidade); 2 (característica com alta herdabilidade).

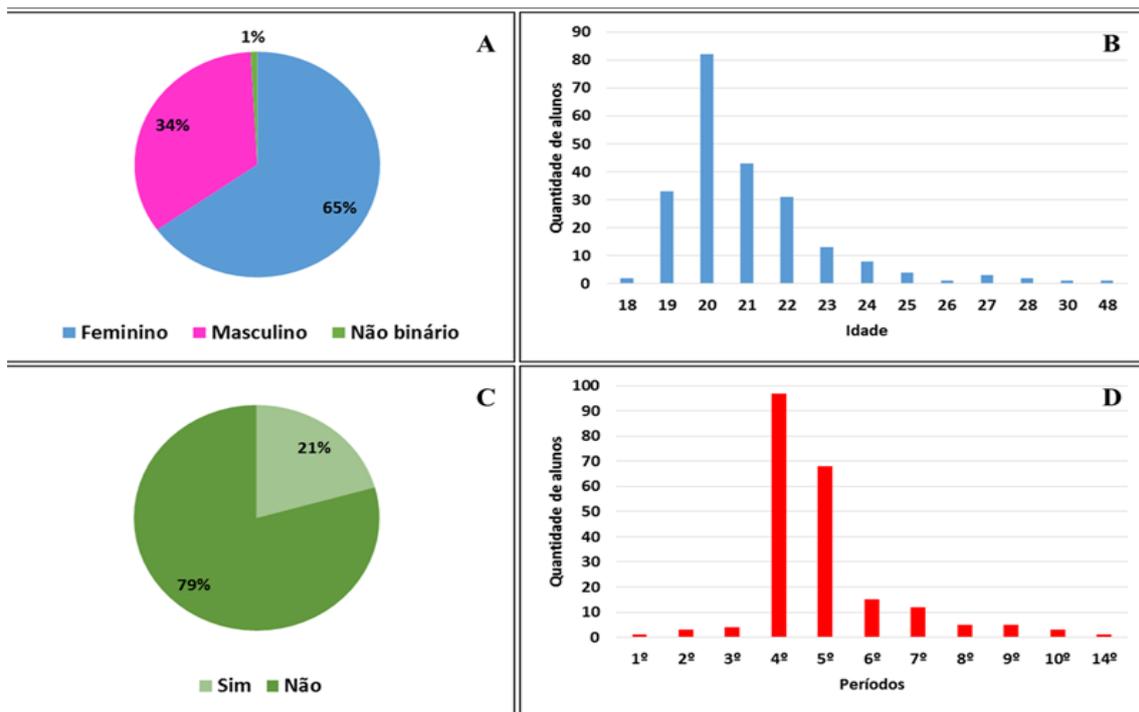


Figura 1.- Caracterização da amostra de estudantes do Curso de Ciências Biológicas trabalhada. A. Gráfico de setores com a proporção dos diferentes gêneros na amostra. B. Gráfico de barras com as idades. C. Gráfico de setores com a proporção de alunos trabalhando. D. Gráfico de barras com a quantidade de alunos nos períodos sendo cursados.

De modo contrário, para características com herdabilidade não fundamentada (esquizofrenia, inteligência, alcoolismo, personalidade, homossexualidade e agressividade), foram consideradas adequadas aquelas respostas que apontaram uma baixa porcentagem de contribuição genética na determinação dessas características. Condições psicológicas como, por exemplo, alcoolismo e esquizofrenia provêm da rotulação de uma gama de comportamentos como se fosse uma única característica e, portanto, evidências da origem genética para essas características são pouco objetivas (Rose et al, 1984; Gould, 1981). Nesse sentido, a pontuação definida foi: 0 (não respondeu); 1 (característica com alta herdabilidade); 2 (característica com baixa herdabilidade). Para o terceiro grupo, de características não herdáveis (AIDS e gripe), a pontuação definida foi semelhante à do grupo anterior, visto que é bem documentada a natureza ambiental dessas condições (Foster, 2002; Earn, Dushoff e Levin, 2002).

As questões 4 e 5 ofereciam soluções deterministas para situações problema, logo, os alunos poderiam concordar ou discordar da solução oferecida e, as justificativas, poderiam ser coerentes ou não com seus posicionamentos. Nesse sentido foram definidas as seguintes categorias para as respostas: -3 (determinista coerente); -2 (determinista); -1 (determinista incoerente); 0 (não respondeu); 1 (não determinista)

incoerente); 2 (não determinista); 3 (não determinista coerente). O sistema de pontuação adotado se encontra sumarizado no Quadro 2.

Os resultados dos 96 testes para diferenças nas categorias de respostas de todas as questões entre as amostras de semestres seguintes diretos indicaram que não houve diferença estatisticamente significativa, a exceção de três itens da questão dois (inteligência, AIDS e gripe) nos semestres seguintes de 2018 e 2019. Dessa forma, as amostras de todas as outras categorias de respostas foram agrupadas em três diferentes tempos: tempo 1 (T1) composto das amostras dos semestres 2001 e 2002; tempo 2 (T2) composto dos semestres de 2009 e 2010; e tempo 3 (T3) composto dos semestres 2018 e 2019. Os resultados dos testes estatísticos realizados entre os três tempos (T1, T2, T3) mostraram 20 casos que apresentaram desvios significativos. Esses resultados serão apresentados em maiores detalhes nas próximas seções.

Questão	Objetivo	Codificação	Pontuação
1a até 1q	Definição de palavras referentes ao Modelo Mendeliano, Teoria Cromossômica, Biol. Molecular e Evolução	Não respondeu	0
		Resposta sem sentido	1
		Respondeu mal	2
		Respondeu razoável	3
		Respondeu bem	4
2a, 2c, 2g, 2j	Contribuição relativa dos genes para características com herdabilidade definida	Não respondeu	0
		Baixa herdabilidade ($x < 90\%$)	1
		Alta herdabilidade ($x > \text{ou} = 90\%$)	2
2b, 2d, 2e, 2f, 2k, 2l	Contribuição relativa dos genes para características com herdabilidade não fundamentada	Não respondeu	0
		Alta herdabilidade ($x > 20\%$)	1
		Baixa herdabilidade ($x < \text{ou} = 20\%$)	2
2h, 2i	Contribuição relativa dos genes para características não herdáveis	Não respondeu	0
		Alta herdabilidade ($x > 0\%$)	1
		Baixa herdabilidade ($x = 0\%$)	2
3	Diferenciação entre genótipo e fenótipo	Não respondeu	0
		Resposta sem sentido	1
		Respondeu mal	2
		Respondeu razoável	3
		Respondeu bem	4
4 e 5	Concordar ou discordar de uma solução determinista, justificando sua resposta	Determinista coerente	-3
		Determinista	-2
		Determinista incoerente	-1
		Não respondeu	0
		Não determinista incoerente	1
		Não determinista	2
Não determinista coerente	3		

Quadro 2.- Sistema de codificação utilizado para cada uma das diferentes questões do questionário.

Familiaridade dos alunos quanto às diferentes áreas de conhecimento genético

Os resultados da questão um, que sondava a familiaridade em relação ao Modelo Mendeliano (1a, 1b, 1f, 1o), Teoria Cromossômica (1c, 1d, 1e, 1g),

Biologia Molecular (1h, 1i, 1j, 1k, 1l, 1q) e Evolução (1m, 1n, 1p), indicaram um baixo nível de domínio dos alunos em relação a essas áreas do conhecimento de genética, visto que, de uma maneira geral, os alunos não foram capazes de definir satisfatoriamente as palavras ofertadas. Além disso, o número de perguntas não respondidas foi maior do que 20% para os três tempos avaliados. Essa alta porcentagem se deveu, majoritariamente, a falta de respostas para as perguntas referentes à "pleiotropia", "endonuclease de restrição" e "operon". As duas últimas pertencem à área Biologia Molecular, que foi a que apresentou o melhor desempenho geral entre as quatro áreas investigadas, seguida de Teoria Cromossômica, Modelo Mendeliano e Evolução.

Em algumas das respostas foi observada uma aglomeração de conceitos teóricos distintos. Por exemplo, a grande maioria das definições da palavra "gen" fazia referência à informação genética, código genético, DNA e cromossomo. De maneira semelhante, grande parte das definições de cromossomo mencionava código genético, DNA, unidade hereditária e determinante do fenótipo. Menos variadas foram as respostas dadas para "herança ligada ao sexo" que envolviam, quase sempre, menção aos cromossomos.

Como os alunos estimaram a herdabilidade das características?

A questão dois tinha como objetivo determinar o posicionamento dos alunos em relação à contribuição genética para características com herdabilidade definida (2a, 2c, 2g, 2f), não fundamentada (2b, 2d, 2e, 2f, 2k, 2l) e características não herdáveis (2h, 2i). Os resultados para as características inteligência, AIDS e gripe, que mostraram diferenças estatisticamente significativas entre os semestres seguintes (teste de U-Mann-Whitney; $p < 0.005$, $p < 0.05$, $p < 0.005$, respectivamente) estão mostrados na Figura 2. É importante ressaltar que, nos gráficos referentes a essa questão, a legenda diz respeito às categorias de resposta, por exemplo, 0.1 equivale às respostas que atribuíram até 10% de determinação genética para uma característica, 0.2 equivale às respostas que atribuíram até 20% de determinação genética para uma característica e assim sucessivamente. Fica evidente que as respostas do primeiro semestre de 2019 são aquelas que apresentaram um maior peso dos genes na determinação dessas três características. Isso é especialmente preocupante quando se sabe que duas delas não chegam nem a ser herdáveis. É importante ressaltar que, apesar de índices de herdabilidade terem sido usados como referência para pontuar as respostas dos alunos nessa questão, eles apresentam capacidade explicativa limitada, uma vez que são definidos para populações específicas e, portanto, não podem ser generalizados (Lewontin, 1982; Vitzthum, 2003).

Os resultados agrupados por tempos estão mostrados na Figura 3. Como esperado há uma clara diferença entre os padrões de respostas para características com herdabilidade definida, herdabilidade não fundamentada e características não herdáveis, com a contribuição genética apontada pelos alunos decrescendo respectivamente em relação a elas. É notável, ainda, que "homossexualidade" foi à característica para a qual os alunos indicaram a menor contribuição dos genes, menor ainda que características não herdáveis como gripe e AIDS.

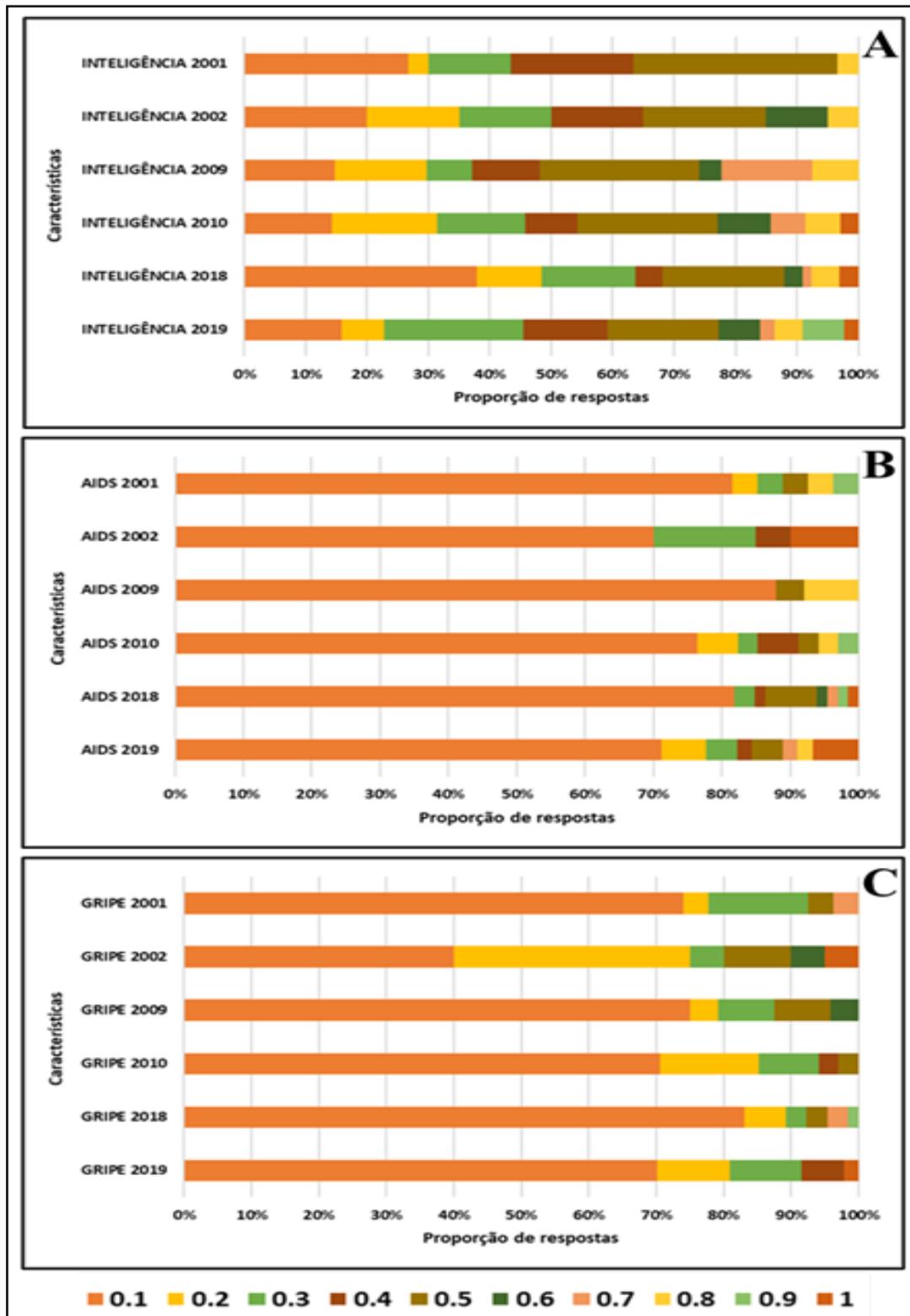


Figura 2.- Resultado para os itens que apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre semestres sequentes diretos. A. Resultados do item 2d. B. Resultados do item 2h. C. Resultados do item 2i. Legenda: 0.1 equivale às respostas que atribuíram até 10% de determinação genética para uma característica, 0.2 equivale às respostas que atribuíram até 20% de determinação genética para uma característica e assim sucessivamente.

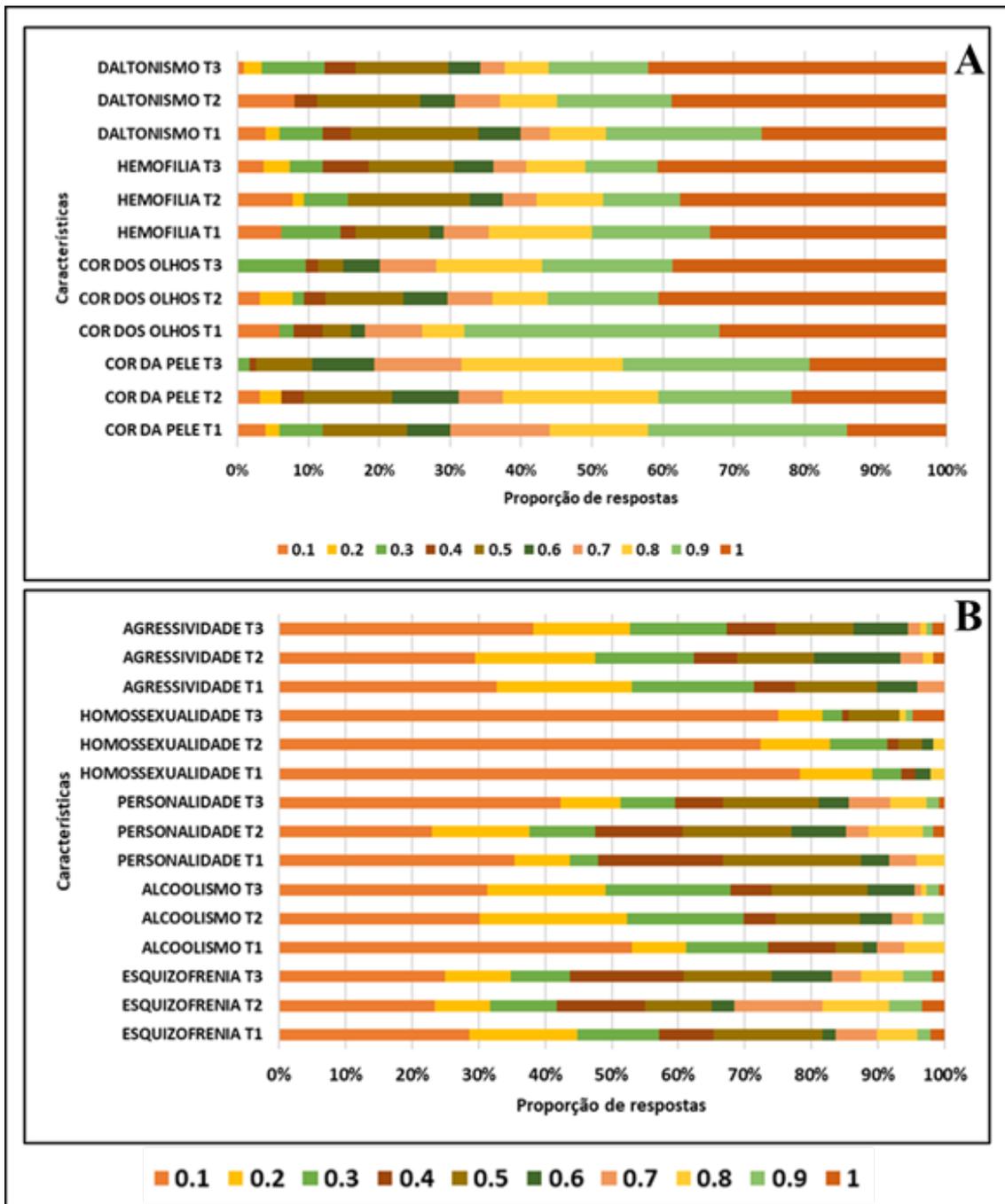


Figura 3.- Resultados para os itens que não apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre semestres sequentes diretos. A. Resultados das características com herdabilidade definida. B. Resultados das características com herdabilidade não fundamentada. Legenda: 0.1 equivale às respostas que atribuíram até 10% de determinação genética para uma característica, 0.2 equivale às respostas que atribuíram até 20% de determinação genética para uma característica e assim sucessivamente.

Diferenciando genótipo de fenótipo

A questão três investigava como os alunos percebiam as diferenças entre genótipo e fenótipo. De uma maneira geral, as respostas indicam pouca clareza em relação a esses conceitos. Se a pergunta pedia para que os conceitos fossem diferenciados, o que a maioria das respostas apresentava

eram duas definições paralelas sem a preocupação de elaborar as distinções entre eles. Não foi possível encontrar diferenças significativas entre as respostas entre os períodos ou os tempos (teste de U-Mann-Whitney e Kruskal-Wallis, $p > 0.05$), contudo, observa-se uma tendência de diminuição da compreensão desses conceitos ao longo do tempo. Invariavelmente, a resposta que mais apareceu fazia referência ao fenótipo simplesmente como a expressão do genótipo em características.

Suscetibilidade aos argumentos deterministas

Os resultados para as questões quatro e cinco que ofereciam soluções deterministas para situações problema estão mostrados na Figura 4. As respostas dos alunos apontam para uma baixa suscetibilidade aos argumentos deterministas, contudo, com uma diferença significativa entre as questões. A questão cinco, relativa à herança da inteligência, obteve um maior número de respostas concordando com a explicação determinista que a questão quatro, relativa à herança do "gostar de couve" (teste de U-Mann-Whitney, $p < 0.0005$).

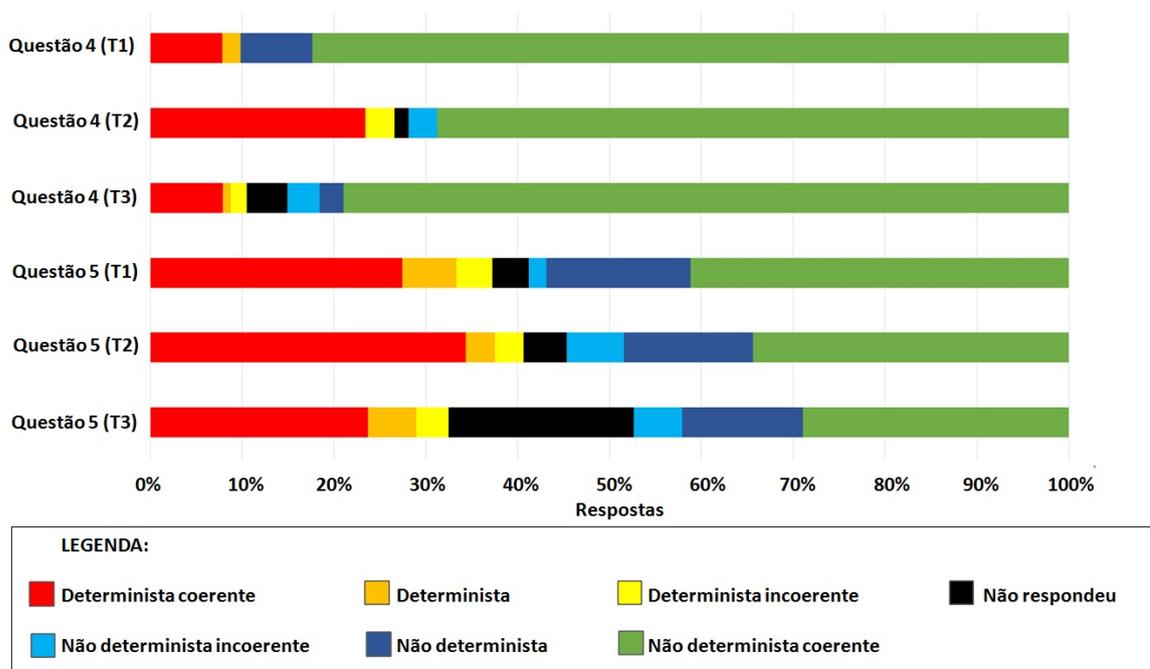


Figura 4.- Resultados da codificação das respostas referentes aos argumentos deterministas.

Discussão

Em relação aos recursos utilizados para obtenção de informações sobre genética e evolução, os alunos demonstraram uma tendência a usar aqueles que não oferecem uma descrição objetiva do conhecimento científico como, por exemplo, o canal *Discovery Channel*. Em função da sua disputa por uma posição no mercado, esse canal se utiliza de roteiros que envolvem recursos de ficção de modo a tornar a sua programação mais atraente para o telespectador (Dingwall e Aldridge, 2006). A própria descrição do canal no seu sítio da internet (<https://corporate.discovery.com/businesses-and-brands/>) afirma que seu objetivo principal é o "entretenimento da vida real, oferecendo aos fãs apaixonados ao redor do mundo conteúdo que inspira,

informa e entretém”. Ou seja, o *Discovery Channel* é uma plataforma de entretenimento que, para se manter competitiva no mercado, submete a informação ao espetáculo.

O mesmo pode ser dito a respeito da revista *Superinteressante* (a mais buscada pelos alunos para adquirir suas informações sobre genética e evolução). Tucherman, Cavalcanti e Oiticica (2010) relataram que, apesar das matérias dessa revista apresentarem um discurso informativo, são encontrados nela, também, discursos de cunho messiânico e catastrófico. Além disso, a *Superinteressante*, por buscar um nicho de público variado e não especializado na área de ciências, se utiliza de uma linguagem que se distancia do rigor dos institutos de pesquisas e se aproxima de um discurso fantástico sobre os avanços da ciência (Moraes, 2007). Contudo, a terceira revista mais citada pelos alunos foi a *Ciência Hoje*, um veículo ligado à SBPC e que tem como linha editorial a valorização da divulgação da pesquisa nacional adotando, inclusive, uma avaliação por pares dos artigos a serem publicados (Casagrande, Silva e Mendonça, 2011). Diferentemente da *Superinteressante*, um artigo publicado nessa revista representa uma forma de divulgação que valoriza o rigor das informações, seguindo critérios reconhecidos pela comunidade científica nacional.

Tratando-se do cinema, foi majoritária a referência ao filme *Jurassic Park* nas respostas dos alunos. Nesse filme, que envolve no seu enredo elementos como manipulação genética, clonagem e terapia gênica é evidente a apresentação do DNA como uma receita para construção dos organismos vivos (Silva, 2005). Este tipo de perspectiva, além de altamente simplificadora do papel e função do DNA nos seres vivos, favorece uma visão determinista do desenvolvimento. Ou seja, subestima a influência de uma série de mecanismos celulares e epigenéticos envolvidos tanto na replicação do próprio DNA quanto no processo de desenvolvimento de um organismo vivo (Rose, 2001).

Esses resultados, de certa forma, são preocupantes, uma vez que representam uma amostra relevante de futuros professores de ciências e biologia e se mantiveram praticamente inalterados para três diferentes unidades temporais de alunos de um curso de Ciências Biológicas. Contudo, eles não são, de modo algum, surpreendentes. A influência das mais diversas formas de mídia (revistas, cinema, TV, noticiários etc.) nas concepções sobre genética e evolução de alunos, professores e do público em geral tem sido descrita na literatura, inclusive com relação a concepções deterministas biológicas (Heine et al, 2017; Keller, 2005; Lazarowitz e Bloch, 2005; Phelan et al, 2013; Shaw, Horne, Zhang e Boughman, 2008; Williams e Eberhardt, 2008).

Voltando-se agora para as áreas da genética e evolução com as quais os alunos estavam mais familiarizados, os resultados indicaram um padrão insatisfatório de respostas para todas as quatro áreas investigadas, além de um elevado número de questões não respondidas, corroborando o padrão encontrado na literatura (Chapman et al, 2018; Gericke et al, 2017; Joaquim, 2007; Shaw et al, 2008). Belmiro e colaboradores (2017), por exemplo, realizaram uma análise estatística das concepções prévias de 208 estudantes pré-universitários de escolas estaduais, municipais, federais e privadas no estado de Minas Gerais acerca de conceitos da genética

(cromossomo, gene, alelo, divisões celulares, redundância do código genético, probabilidade e ploidia). Em geral, a média de acertos para o questionário utilizado no estudo foi considerada baixa (51,4%), com a maior média pertencendo às escolas federais (63,6%). Foi verificado, também, que os estudantes de todas as escolas apresentaram concepções equivocadas a respeito de conceitos considerados básicos para genética como "alelos", "redundância do código genético" e "ploidia". Outro trabalho realizado sobre a mesma temática é o de Infante-Malachias et al (2010), que avaliaram o entendimento de conceitos relacionados à genética por 217 alunos de seis cursos de graduação da área da saúde da Universidade Federal de São Paulo, sendo que a grande maioria (140) pertencia ao curso de Ciências Biológicas. O questionário utilizado investigou a compreensão dos alunos sobre assuntos como a representação de cromossomos, processos de divisão celular, herança mendeliana e a localização do material genético. Os resultados indicaram um baixo percentual de acerto (menos de 60%) para todos os cursos, com os estudantes de Biologia apresentando os melhores resultados. Os pesquisadores avaliaram ainda o desempenho de alunos em períodos iniciais e mais avançados no curso e, surpreendentemente, alunos no início do curso tiveram um percentual de acertos maior do que o grupo de formandos.

Um resultado interessante encontrado no presente trabalho diz respeito às definições de "gen" que foram oferecidas pelos alunos. Vários estudos (Falk, 2014; Flodin, 2009; Gericke e Wahlberg, 2013; Joaquim, 2007; Lewis, Leach e Wood-Robinson, 2000; Stotz, Griffiths e Knight, 2004) têm indicado que "gen" é uma palavra polissêmica englobando significados tão diversos quanto uma unidade hereditária, um alelo do cromossomo, uma porção de DNA que codifica uma proteína e um programa de desenvolvimento. Resultado muito semelhante foi encontrado para as amostras de alunos analisadas neste trabalho. A explicação para esse fenômeno tem sido relacionada ao fato de que diversos livros didáticos apresentam uma aglomeração de conceitos teóricos distintos quando lidando com o conceito de gene (Avelo, 2015; Albuquerque, Almeida e El-Hani, 2008; Castéra et al, 2008; Gericke et al, 2014).

De uma maneira geral, os trabalhos têm relacionado a suscetibilidade a argumentos do determinismo genético com a falta de conhecimento sobre genética (Castéra e Clément, 2014; Gericke et al, 2017). A hipótese é de que o determinismo genético está pautado numa visão simplificada da relação entre genes e características, na qual um gene é responsável por determinar uma característica, ou seja, que traços físicos, psicológicos, assim como doenças, poderiam ser explicados pela presença ou ausência de determinados genes. Segundo Keller (2000) as descobertas no campo da genômica têm evidenciado uma diversidade de outras relações nas quais os genes interagem entre si e são constantemente influenciados por mecanismos epigenéticos e celulares para determinar algum caráter, enfatizando que essa relação de um para um entre genes e características deve ser entendida como uma parte minúscula de uma miríade de relações existentes entre genótipo e fenótipo. Nesse mesmo sentido, Gericke e colaboradores (2017) afirmaram que qualquer pessoa que possua um conhecimento nas áreas de genômica deveria ser capaz de identificar como problemática a crença no poder excessivo dos genes na formação do

fenótipo e, portanto, reconhecer a falácia científica dos argumentos deterministas. Embora no presente trabalho se concorde com a hipótese de que a aceitação de argumentos do determinismo esteja relacionada com a falta de conhecimento sobre genética, acredita-se que o nível de conhecimento necessário para prevenir a adesão aos argumentos do determinismo genético não requiere informações ligadas aos recentes avanços da genética ou da genômica bastando, para tanto, apenas o domínio de conceitos básicos como genótipo e fenótipo.

Evidências em favor do argumento defendido acima podem ser encontradas na história dos conceitos de herança. Por exemplo, o conceito de genes (ou fatores hereditários) quando foi criado na proposição do modelo mendeliano de herança, em 1866, não correspondia a entidades reais, mas a instrumentos para a investigação do fenômeno da herança (Carlson, 1991). Nesse sentido, de modo algum o gene era soberano naquele período, posto que, em certa medida, nem real ele era (Burian, 1985). Dito de outra forma, os fatores hereditários (ou genes) não poderiam determinar nada, apenas servir para explicar o fenômeno da herança (Allen, 2014). Seguindo a história da genética, em 1911, ao cunhar os termos genótipo e fenótipo, Johannsen já havia estabelecido uma diferença entre a parte hereditária das características (genótipo) e a sua manifestação (fenótipo) (Falk, 2014). Mais que isso, a compreensão dos genes como aquilo que determina o fenótipo foi alvo de críticas por Thomas Hunt Morgan (1866-1945), quando ele palestrou, ao receber o Prêmio Nobel de Medicina em 1933, sobre a importância do ambiente no desenvolvimento (Morgan, 1934). Portanto, é possível dizer que, previamente à derrocada do conceito de gene apregoada por Keller (2000) ou da importância da genômica propalada por Gericke e colaboradores (2017), a simples capacidade de diferenciar genótipo de fenótipo seria suficiente para evitar a crença no poder causal absoluto (ou excessivo) dos genes. Foi nesse sentido que o questionário utilizado se preocupou em investigar o domínio dos alunos em diferenciar genótipo de fenótipo.

Os resultados indicaram que grande parte dos alunos (mais de 70%) foi incapaz de diferenciar genótipo de fenótipo de forma apropriada. Esse cenário se manteve constante nas três amostras temporais, uma indicação de que mais de 100 anos de discussão a respeito desses conceitos não foram suficientes, ainda, para produzir uma familiaridade dos alunos com eles. Mais que isso, analisando esse padrão com aquele das respostas encontradas para definição de "gen", é possível conjecturar que eles possam estar associados à aglomeração de conceitos que os alunos realizam e já foi descrita na literatura (Falk, 2014; Flodin, 2009; Gericke e Wahlberg, 2013; Joaquim, 2007; Lewis et al, 2000; Stotz et al, 2004). Ou seja, ao unirem o pressuposto de um gene-um caráter do modelo mendeliano de herança com o paradigma da informação no qual se funda a definição molecular de gene, os alunos acabam por simplificar a noção de fenótipo na equação "*fenótipo = genótipo + ambiente*" ou na assertiva de que o "*fenótipo é a expressão do genótipo*". Além dessas definições simplórias não se debruçarem sobre o problema da diferenciação, elas são baseadas numa perspectiva inadequada dos dois conceitos e podem influenciar a forma como os alunos entendem a contribuição dos genes no

desenvolvimento das características fenotípicas (Heemann e Hammann, 2020).

Quanto ao posicionamento em relação à herança das características, ficou evidente que os alunos indicavam sempre uma maior contribuição dos genes para características físicas em relação às condições psicológicas ou psiquiátricas. Mesmo características não herdáveis como AIDS e gripe tiveram indicação de contribuição genética na sua determinação. Shostak e colaboradores (2009), ao analisarem 1241 gravações de entrevistas por telefone observaram que o público que compunha sua amostra dava maior importância à contribuição genética para patologias físicas, seguidas de condições psicológicas (inteligência, personalidade) e, por último, para aspectos de sucesso na vida. Além disso, mesmo para sucesso na vida, dois terços dos entrevistados ainda consideraram a influência dos genes como "*um tanto importante*". Cenário semelhante foi encontrado por Gericke e colaboradores (2017) que observaram maior atribuição de origem genética para características como altura, daltonismo e grupo sanguíneo seguidos de alcoolismo e comportamento violento e, com os menores valores, interesse por moda, crenças políticas e crenças religiosas.

As duas últimas questões do questionário, que diziam respeito diretamente à suscetibilidade dos alunos às ideias do determinismo genético, mostraram uma diferença estatisticamente significativa no padrão de respostas para as duas questões. Os alunos demonstraram discordância quanto à determinação genética da característica subjetiva (gostar de couve) e concordância quanto à determinação genética da característica psicológica (inteligência). Esses resultados, mais uma vez, concordam com a descrição encontrada na literatura (Gericke et al, 2017; Shostak et al, 2009) que têm mostrado que, independente do grupo estudado (alunos, professores, público em geral), existe uma adesão a ideia de que quanto mais próxima do corpo uma característica, mais determinada geneticamente ela é (Chapman et al, 2018). Condit e colaboradores (2004) realizaram uma pesquisa, nos Estados Unidos, na qual se utilizaram de questionários e entrevistas por telefone e com grupos focais, para investigar a compreensão de um público variado sobre genes, raça e testes genéticos. Seus resultados indicaram que o público associava características físicas à determinação genética, enquanto outros atributos como "talento" foi raramente associado aos genes. Esses resultados indicaram que a atribuição da determinação genética para uma característica parecia estar sendo influenciada por uma concepção de "corporeidade", que associa a determinação genética a maior proximidade da característica ao corpo.

Da mesma forma do que vem sendo observado na literatura, os resultados aqui obtidos para suscetibilidade dos alunos aos argumentos do determinismo genético parecem estar sendo influenciados, majoritariamente, por dois fatores. Primeiramente, a falta de domínio de conceitos básicos de genética e, segundo, a tendência dos alunos de associar a natureza genética de uma característica a sua proximidade do corpo ("corporeidade"). A falta de domínio para lidar com conceitos básicos de genética é um problema, já que dificulta que os alunos identifiquem nos enunciados deterministas os erros conceituais que neles proliferam. Do mesmo modo, a concepção de "corporeidade" obscurece o fato de que a determinação genética de uma característica é um fenômeno complexo que

envolve muitas diferentes formas de interação e, mais que isso, a própria definição de característica depende do nível de observação. Por exemplo, a definição do fenótipo cor dos olhos pode estar baseada desde a cor da íris até o RNA heterogêneo.

O quadro observado neste trabalho é problemático, uma vez que se sabe que de tempos em tempos ressurge uma série de teorias que tentam justificar as diferenças de *status quo* na sociedade com base em diferenças biológicas (Lewontin, 2001). No início do século XIX, por exemplo, avanços na área da anatomia propunham que o tamanho do cérebro determinava a inteligência e *status social* de um indivíduo (Lewontin, 1982). Durante o mesmo período, a frenologia justificava as diferenças das condições sociais entre as "raças" como sendo produto das configurações distintas do cérebro e do crânio (Bank, 1996). Na segunda metade do século XX uma grande celeuma foi produzida pela publicação de um artigo que associava a inteligência, medida na forma de testes de QI, com o sucesso (e fracasso) socioeconômico de diferentes de grupos étnicos (Jensen, 1967). Em 1975, foi publicado um livro que atribuía aos genes a causa das diferenças socioeconômicas das sociedades humanas que teriam sido moldadas (diferenças e sociedade) pela ação direta da seleção natural (Wilson, 1975). Na década de 1990, diferentes trabalhos defenderam que a condição de marginalizados da sociedade se devia ao conteúdo genético dessas pessoas que seria marcado por genes para baixa inteligência e maior predisposição à criminalidade (Allen, 2001; Herrnstein e Murray, 1994). Apesar de sempre terem recebido fortes críticas de parte da comunidade científica, esses trabalhos continuam a aparecer na forma de artigos científicos (Arbatli, Ashraf, Galor e Klemp, 2015) e de livros destinados ao público leigo (Plomin, 2018; Wade, 2014). Esse grupo de teorias deterministas, para além do discurso pseudocientífico, apresenta um forte conteúdo ideológico que visa a manutenção do atual *status quo* (Burian, 1981; Gould, 1981; Lewontin, 1982).

Em resumo, o presente trabalho encontrou evidências de que a suscetibilidade às ideias do determinismo genético está fundada tanto numa baixa familiaridade com ideias básicas da genética quanto numa concepção de "corporeidade" que compreende que a determinação genética de uma característica é diretamente proporcional a sua proximidade do corpo. Mais que isso, a amostra de estudantes analisadas indicou que grande parte da sua informação não formal advém de fontes que se caracterizam pelo discurso reducionista e sensacionalista. Dessa forma, parece que um caminho frutífero para superar a suscetibilidade dos alunos às ideias do determinismo genético seria, para além do pressuposto iluminista de aumentar o nível de conhecimento em genética e genômica, promover a discussão crítica do aparato ideológico que compõe as ideias do determinismo biológico e a sua relação com o determinismo genético. Assim, é oportuno destacar o papel da escola e da universidade para além da transmissão do conhecimento. Ou seja, tanto a escola quanto a universidade têm papel fundamental na formação de profissionais e cidadãos letrados cientificamente, o que significa dizer: com uma visão crítica para avaliar as falácias deterministas que, vez por outra, invadem as mentes e corações da sociedade e seus aparatos intelectuais de legitimação dos fracassos sociais do capitalismo.

Referências bibliográficas

- Aivelo, T. (2015). Genetic determinism in the Finnish upper secondary school biology textbooks. *NorDiNa*, 11(2), 139-52. Recuperado de <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/155357>
- Albuquerque, P., Almeida, A., e El-Hani, C. (2008). Gene Concepts in Higher Education Cell and Molecular Biology Textbooks. *Science Education International*, 19(2), 219-234. Recuperado de <https://eric.ed.gov/?id=EJ890634>
- Allen, G. (1997). The social and economic origins of genetic determinism: A case history of the American Eugenics Movement, 1900–1940 and its lessons for today. *Genetica*, 99, 77-88. Recuperado de <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02259511>
- Allen, G. (2001). The Biological Basis of Crime: An Historical and Methodological Study. *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences*, 31(2), 183-222. Recuperado de <https://www.jstor.org/stable/10.1525/hsp.2001.31.2.183>
- Allen, G. (2014). Origins of the classical gene concept, 1900–1950: Genetics, mechanistic, philosophy, and the capitalization of agriculture. *Perspectives in Biology and Medicine*, 57(1), 8-39. <https://doi.org/10.1353/pbm.2014.0003>
- Antonelli-Ponti, M., Versuti, F., e Da Silva, J. (2018). Teachers' perception about genes and behavior. *Estudos de Psicologia*, 35(4), 421-431.
- Arbatli, C., Ashraf, Q., Galor, O., e Klemp, M. (2015). Diversity and Conflict. *National Bureau of Economic Reserch*, Working Paper, No. 21079, Recuperado de <https://www.nber.org/papers/w21079>.
- Bank, A. (1996). Of 'Native Skulls' and 'Noble Caucasians': Phrenology in Colonial South Africa. *Journal of Southern African Studies*, 22(3), 387-403. <https://doi.org/10.1080/03057079608708501>
- Barsh, G. (2003). What Controls Variation in Human Skin Color? *PLoS Biology*, 1(1), 19-22. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.0000027>
- Belmiro, M., Diniz, M., e Barros, M. (2017). Ensino de Genética no Ensino Médio: Uma Análise Estatística das Concepções Prévias de Estudantes Pré-universitários. *Revista Práxis*, 9(17), 95-102. Recuperado de <http://revistas.unifoa.edu.br/index.php/praxis/article/view/771/0>
- Burian, R. (1981). Human sociobiology and genetic determinism. *Philosophical Forum*, 13(2-3), 43-66. Recuperado de <http://joelvelasco.net/teaching/2890/burian81-humansociobiology.pdf>
- Burian, R. (1985). On conceptual change in biology: The case of the gene. Em D. Depew e B. Weber (Eds.), *Evolution at a crossroads-The new biology and the new philosophy of science* (pp. 21-42). Londres: MIT Press.
- Camargo Jr. K., e Camargo I, T. (2010). Representações sobre Genética em Veículos de Grande Circulação no Brasil. *Revista de Saúde Coletiva*, 21(3), 853-863. Recuperado de

https://www.scielo.org/scielo.php?pid=S0103-73312011000300005&script=sci_arttext&lng=pt

Carlson, A. (1991). Defining the Gene: An Evolving Concept. *American Journal of Human Genetics*, 49(2), 475-487. Recuperado de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1683308/>

Casagrande, A., Silva Jr. P., e Mendonça, F. (2011). Mudanças Climáticas e Aquecimento Global: Controvérsias, Incertezas e a Divulgação Científica. *Revista Brasileira de Climatologia*, 8, 30-44. <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v8i0.25793>

Castéra, J., Abrougui, M., Nisifórou, O., Turcinaviciene, J., Sarapuu, T.; Agorram, B., ... Carvalho, G. (2008). Genetic Determinism in School Textbooks: A Comparative Study Conducted Among Sixteen Countries. *Science Educacional Internacional*, 19(2), 163-184. Recuperado de <https://eric.ed.gov/?id=EJ890631>

Castéra, J., e Clément, P. (2014). Teacher's Conceptions About the Genetic Determinism of Human Behaviour: A Survey in 23 Countries. *Science & Education*, 23(2), 417-443. Recuperado de <https://link.springer.com/article/10.1007/s11191-012-9494-0>

Castéra, J., Sarapuu, T., e Clément, P. (2013). Comparison of French and Estonian students' conceptions in genetic determinism of human behaviours. *Journal of Biological Education*, 47(1), 12-20. <https://doi.org/10.1080/00219266.2012.716779>

Chapman, R., Likhanov, M., Selita, F., Zakharov, I., Smith-Woolley, E., e Kovas, Y. (2018). New literacy challenge for the twenty-first century: genetic knowledge is poor even among well educated. *Journal of Community Genetics*, 10(1), 73-84.

Condit, C., Parrot, R., Harris, T., Lynch, J., e Dubriwny, T. (2004). The Role of "Genetics" in Popular Understandings of Race in the United States. *Public Understanding of Science*, 13(3), 249-272. <https://doi.org/10.1177/0963662504045573>

Crichton, M. (1990). *Jurassic Park*. Nova York: Alfred A. Knopf (Publisher).

Dar-Nimrod, I., e Heine, S. (2011). Genetic Essentialism: On the Deceptive Determinism of DNA. *Psychological Bulletin*, 137(5), 800-818. <http://dx.doi.org/10.1037/a0021860>

Dingwall, R., Aldridge, M. (2006). Television Wildlife Programming As a Source of Popular Scientific Information: A Case Study of Evolution. *Public Understanding of Science*, 15(2), 131-152. <https://doi.org/10.1177/0963662506060588>

Durant, W. (1966). *A história da civilização. Volume II: Nossa Herança Clássica*. 2ª Ed. Rio de Janeiro: Record.

Earn, D., Dushoff, J., e Levin, S. (2002). Ecology and Evolution of the flu. *Trend in Ecology and Evolution*, 17(7), 334-340. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(02\)02502-8](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(02)02502-8)

Falk, R. (2014). The Allusion of the Gene: Misunderstandings of the Concepts Heredity and Gene. *Science & Education*, 23(2), 273–284. Recuperado de <https://link.springer.com/article/10.1007/s11191-012-9510-4>

Flodin, V. (2009). The Necessity of Making Visible Concepts with Multiple Meanings in Science Education: The Use of the Gene Concept in a Biology Textbook. *Science & Education*, 18(1), 73–94. Recuperado de <https://link.springer.com/article/10.1007/s11191-007-9127-1>

Foddy, W. (1993). *Constructing Questions for Interviews and Questionnaires*. Cambridge: Cambridge University Press.

Foster, H. (2002). *What Really Causes AIDS*. Victoria: Trafford Publishing.

Gericke, N., e Wahlberg, S. (2013). Clusters of Concepts in Molecular Genetics: A Study of Swedish Upper Secondary Science Students' Understanding. *Journal Of Biological Education*, 47(2), 73-83. <https://doi.org/10.1080/00219266.2012.716785>

Gericke, N., Carver, R., Castéra, J.; Evangelista, N.; Marre, C., e El-Hani, C. (2017). Exploring Relationships Among Belief in Genetic Determinism, Genetics Knowledge, and Social Factors. *Science & Education*, 26(10), 1223-1259. Recuperado de <https://link.springer.com/article/10.1007/s11191-017-9950-y>

Gericke, N., Hagberg, M., dos Santos, V., Joaquim, L., e El-Hani, C. (2014). Conceptual Variation or Incoherence? Textbook Discourse on Genes in Six Countries. *Science & Education*, 23, 381-416. Recuperado de <https://link.springer.com/article/10.1007/s11191-012-9499-8>

Gildersleeve, M., e Crowden, A. (2019). Genetic determinism and place. *Nova prisutnost*, 17(1), 139-162.

Gould, S. (1981). *A Falsa Medida do Homem*. 1ª Edição. Nova York: Martins Fontes Editora.

Günther, H. (2003). Como Elaborar um Questionário. *Série: Planejamento de Pesquisa nas Ciências Sociais*, 1, 1-15.

Hammer, O., Harper, D. A. T., e Ryan, P. D. (2001). PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4(1), 1-9.

Haslam, N., Rotchschild, L., e Ernst, D. (2002). Are Essentialist Beliefs Associated With Prejudice? *British Journal of Social Psychology*, 41, 87-100. <https://doi.org/10.1348/014466602165072>

Heemann, T., e Hammann, M.(2020). Towards teaching for an integrated understanding of trait formation: An analysis of genetics tasks in high school biology textbooks. *Journal of Biological Education*, 54(2), 191-201.

Heigham, J., e Croker, R. (2009). *Qualitative Research in Applied Linguistics: A Practical Introduction*. Hampshire: Palgrave Macmillan.

Heine, S., Dar-Nimrod, I., Cheung, B., e Proulx, T. (2017). Essentially Biased: Why People Are Fatalistic About Genes. *Advances in Experimental Social Psychology*, 55, 137-192.

Herrnstein, R., e Murray, C. (1994). *The Bell Curve: Intelligence and Class Structure in American Life*. Nova York: The Free Press.

Infante-Malachias, M., Padilha, I., Weller, M., e Santos, S. (2010). Comprehension of Basic Genetic Concepts by Brazilian Undergraduate Students. *Revista Eletrônica de Enseñanza de las Ciências*, 9(3), 657-668. Recuperado de <http://reec.educacioneditora.net/>

Jensen, A. (1967). How Much Can We Boost IQ and Scholastic Achievement. *Harvard Educational Review*, 39, 1-18. <https://doi.org/10.17763/haer.39.1.l3u15956627424k7>

Joaquim, L. (2007). *Genes: Questões Epistemológicas, Conceitos Relacionados e Visões de Estudantes de Graduação* (Dissertação Mestrado em Ensino, Filosofia e História das Ciências). Universidade Federal da Bahia, Brasil.

Keller, E. (2000). *The Century of the Gene*. Massachusetts: Harvard University Press.

Keller, J. (2005). In Genes We Trust: The Biological Component of Psychological Essentialism and Its Relationship to Mechanisms of Motivated Social Cognition. *Journal of Personality and Social Psychology*, 88(4), 686-702. <http://dx.doi.org/10.1037/0022-3514.88.4.686>

Lazarowitz, R., e Bloch, I. (2005). Awareness of Societal Issues Among High School Biology Teachers Teaching Genetics. *Journal of Science Education and Technology*, 14(5/6), 437-457. Recuperado de <https://link.springer.com/article/10.1007/s10956-005-0220-4>

Lewis, J., Leach, J., e Wood-Robinson, C. (2000). All in the Genes?—Young People's Understanding of the Nature of Genes. *Journal of Biological Education*, 34(2), 74–79. <https://doi.org/10.1080/00219266.2000.9655689>

Lewontin, R. (1976). The Fallacy of Biological Determinism. *The Sciences*, 16(2), 6-10. <https://doi.org/10.1002/j.2326-1951.1976.tb01213.x>

Lewontin, R. (1982). Biological Determinism. Em R. C. Lewontin (Ed.), *The Tanner Lectures on Human Values* (pp 147-183). Universidade de Utah: Estados Unidos. Recuperado de <https://tannerlectures.utah.edu/documents/a-to-z/l/lewontin83.pdf>

Lewontin, R. (2001). *Biologia como Ideologia: A Doutrina do DNA*. Edição brasileira. Belo Horizonte: FUNPEC.

Lewontin, R. (2011). The Genotype/Phenotype Distinction. Em E. N. Zalta (Ed.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Recuperado de <https://plato.stanford.edu/archives/sum2011/entries/genotype-phenotype/>

Liu, F., Duijn, K., Vingerling, J., Hofman, A., Uitterlinden, A., Janssens, A., e Kayser, M. (2009). Eye Color and the Prediction of Complex Phenotypes from Genotypes. *Current Biology*, 19(5), 192-193. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2009.01.027>

Martschenko, D. (2019). DNA Dreams': Teacher Perspectives on the Role and Relevance of Genetics for Education. *Research in Education*, 107(1), 33-54.

McCrum-Gardner, E. (2007). Which is the correct statistical test to use? *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery* 46, 38-41. <https://doi.org/10.1016/j.bjoms.2007.09.002>.

Moore, D., e Shenk, D. (2017). The heritability fallacy. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, 8(1-2), e1400. <https://doi.org/10.1002/wcs.1400>

Moraes, V. (2007). *Jornalismo Científico Fetichizado: Análise Comparativa das Revistas SuperInteressante, Suas Edições Especiais e National Geographic*. (Dissertação Mestrado em Ciências Sociais). Universidade Estadual Paulista, Brasil.

Morgan, T. H. (1934). The Relation of Genetics to Physiology and Medicine. *Nobel Lectures in Molecular Biology*.

Morrin-Chassé, A. (2014). Public (Mis)understanding of News about Behavioral Genetics Research: a Survey Experiment. *BioScience*, 64, 1170-1177. <https://doi.org/10.1093/biosci/biu168>

Parrott, R., Silk, K., Weiner, J., Condit, C., Harris, T., e Bernhardt, J. (2004). Deriving Lay Models of Uncertainty About Genes' Role in Illness Causation to Guide Communication About Human Genetics. *Journal of Communication*, 54(1), 105-122. <https://doi.org/10.1111/j.1460-2466.2004.tb02616.x>.

Phelan, J., Link, B., e Feldman, N. (2013). The Genomic Revolution and Beliefs about Essential Racial Differences: A Backdoor to Eugenics? *American Sociological Association*, 78(2), 167-191. <https://doi.org/10.1177/0003122413476034>

Pierce, B. (2016). *Genética: Um Enfoque Conceitual*. 5ª Edição brasileira. Rio de Janeiro: Editora Guanabara.

Plomin, R. (2018). *Blueprint: How DNA Makes Us Who We Are*. Londres: Penguin Books.

Rose, S. (2001). The Biology of the Future and the Future of Biology. *Prospectives in Biology and Medicine*, 44(4), 473-484. Recuperado de <https://muse.jhu.edu/article/26088/summary>.

Rose, S. (2009). Should scientists study race and IQ? *Nature*, 457:786-788. <https://doi.org/10.1038/457786a>

Rose, S., Lewontin, R., e Kamin, L. (1984). *Not in our Genes: Biology, Ideology and Human Nature*. Londres: Penguin Books.

Shaw, K., Horne, K., Zhang, H., e Boughman, J. (2008). Genetics Education: Innovations in Teaching and Learning Genetics Essay Content Reveals Misconceptions of High School Students in Genetics Content. *Genetics*, 178(3), 1157-1168. <https://doi.org/10.1534/genetics.107.084194>

Shostak, S., Freese, J., Link, B., e Phelan, J. (2009). The Politics of the Gene: Social Status and Beliefs About Genetics For Individual Outcomes.

Social Psychology Quarterly, 72(1), 77-93.
<https://doi.org/10.1177/019027250907200107>

Silva, V. (2005). In The Beginning Was The Gene: The Hegemony of Genetic Thinking in Contemporary Culture. *Communication Theory*, 15(1), 100-123. <https://doi.org/10.1111/j.1468-2885.2005.tb00328.x>

Solha, G., e Silva, E. (2004). Onde Está O Lugar Do Conceito De Gene? *Episteme*, 19, 45-68. Recuperado de: <https://philpapers.org/rec/SOLOEO-2>

Stern, F., Kampourakis, K., Delaval, M., e Müller, A. (2020). Development and validation of a questionnaire measuring secondary students' genetic essentialism and teleology (GET) conceptions. *International Journal of Science Education*, 42(2), 1-36.

Stotz, K., Griffiths, P., e Knight, R. (2004). How Biologists Conceptualize Genes: An Empirical Study. *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences*, 35(4), 647-673. <https://doi.org/10.1016/j.shpsc.2004.09.005>

Suhay, E., e Jayaratne, T. (2013). Does Biology Justify Ideology? The Politics of Genetic Attribution. *Public Opinion Quarterly*, 77(2), 497-521. <https://doi.org/10.1093/poq/nfs049>

Teixeira, I. M., e Silva, E. P. (2017a). História da eugenia e ensino de genética. *História da Ciência e Ensino: Construindo Interfaces*, 15, 63-80.

Teixeira, I. M., e Silva, E. P. (2017b). Eugenia e Ensino de Genética: Do Que se Trata?. *Revista Ciências & Idéias*, 8, 63-85.

Tucherman, I., Cavalcanti, C., e Oiticica, L. (2010). Revistas de Divulgação Científica e Ciências da Vida: Encontros e Desencontros. *Revista Brasileira de Ciências da Comunicação*, 33(1), 277-295. <http://dx.doi.org/10.1590/rbcc.v33i1.157>

Vieira, S. (2016). *Introdução à Bioestatística*. Rio de Janeiro: Elsevier.

Vieira, S. (2018). *Bioestatística: Tópicos avançados*. Rio de Janeiro: Elsevier.

Vitzthum, V. (2003). A Number No Greater than the Sum of Its Parts: The Use and Abuse of Heritability. *Humanbiology*, 75(4), 539-558. Recuperado de <https://muse.jhu.edu/article/48163/summary>

Wade, N. (2014). *A Troublesome Inheritance: Genes, Race and Human History*. Londres: Penguin Books.

Waggoner, M. R., e Uller, T. (2015). New Epigenetic determinism in science and society. *Genetics and Society*, 34(2), 177-195.

Watson, J. (1990). The Human Genome Project: Past, Present and Future. *Science*, 248(495), 44-49. Recuperado de <https://science.sciencemag.org/content/248/4951/44>

Williams, M., e Eberhardt, J. (2008). Biological Conceptions of Race and the Motivation to Cross-Racial Boundaries. *Journal of Personality and Social Psychology*, 94(6), 1033-1047. <http://dx.doi.org/10.1037/0022-3514.94.6.1033>.

Wilson, E. (1975). *Sociobiology: The New Sinthesis*. Cambridge: Harvard University Press.