

Sequência didática fundamentada na neurociência para o ensino de genética

Fabio Seidel dos Santos¹, Daniela Frigo Ferraz², Ângela Inês Klein³, Antonio Carlos de Francisco¹, Awdry Feisser Miquelin¹

¹Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa-PR, Brasil. E-mails: fabio_seidel@hotmail.com, acfrancisco@utfpr.edu.br, awdry@utfpr.edu.br.

²Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel-PR, Brasil. E-mail: dfrigoferraz@gmail.com. ³Universidade Federal de Pelotas, Pelotas-RS, Brasil. E-mail: angela.ines.klein@hotmail.com.

Resumo: Este artigo tem o objetivo de descrever as etapas e os resultados da implementação de uma sequência didática (SD) fundamentada nos pressupostos da neurociência para o ensino de genética. A SD foi desenvolvida com alunos da 3ª série do ensino médio de uma escola pública do Estado do Paraná, Brasil. O trabalho apresentou três etapas: avaliação dos conhecimentos prévios dos alunos sobre alguns temas de genética, através do questionário de Paiva e Martins (2005); aplicação da SD; e, avaliação do conhecimento de genética obtido, através de questões do *Two-tier Diagnostic Instrument for Genetics* (Tsui, 2002). Os resultados apontaram que a maioria dos alunos tinham poucos conhecimentos prévios acerca da estrutura e função do material genético, concepções equivocadas sobre a relação genoma-organismo-ambiente e, somado a isto, outros fatores limitantes que, descritos ao longo do artigo, comprometeram o aprendizado do conteúdo trabalhado na SD. Contudo, pode-se afirmar que as atividades e os recursos didáticos utilizados na SD facilitaram o ensino de genética, tornando os encontros mais atrativos e interessantes. Conclui-se que a SD apresentada pode ser inserida como uma atividade diferenciada que auxilia tanto o professor quanto o aluno, no processo de ensino-aprendizagem de genética.

Palavras-chave: sequência didática, neurociência, ensino de genética.

Title: Didactic sequence based on neuroscience for the teaching of genetics.

Abstract: This article aims to describe the steps and the results of a didactic sequence (SD) implementation based on neuroscience for the teaching of genetics. The SD was developed with high school students from the 3rd year of a public school in the State of Paraná, Brazil. The work presented three stages: evaluation of the students' previous knowledge about some genetic themes, through the questionnaire of Paiva and Martins (2005); application of SD; and evaluation of the genetic knowledge through the *Two-tier Diagnostic Instrument for Genetics* (Tsui, 2002). The results showed that most of the students had little previous knowledge about the structure and function of the genetic material, misconceptions about the genome-organism-environment relation and others limiting factors described throughout the article which impaired the learning of the content worked in SD. However, it may be attested that the activities and

educational resources used in SD facilitated the teaching of genetics, making classes more attractive and interesting. It is concluded that the presented SD might be inserted as a differentiated activity that helps both the teacher and the student in the teaching-learning process of genetics.

Keywords: didactic sequence, neuroscience, teaching of genetics.

Introdução

A neurociência é, basicamente, o estudo do sistema nervoso em seus aspectos anatômicos, fisiológicos, bioquímicos e comportamentais. É um campo interdisciplinar que estabelece pontes com diversas outras ciências, como a biologia, química, física, engenharia, linguística, psicologia, ciências da computação, educação, ensino, entre outras.

A preocupação com os aspectos cerebrais do aluno pelos profissionais da área de ensino ainda é discreta. Coch (2018) afirma que, curiosamente, o conhecimento neurocientífico não costuma integrar o currículo de formação do professor, mesmo com a evidência de que a aprendizagem é um processo que ocorre no cérebro, e os professores são aqueles que facilitam ou conduzem o processo de aprendizagem.

Na realidade, a neurociência apresenta um status pouco favorável quanto a sua aplicação direta em sala de aula, ou seja, são raros os estudos que mostram algum sucesso da aplicação do conhecimento neurocientífico diretamente na prática de ensino (Guy e Byrne, 2013). Mesmo assim, é importante salientar que diversos autores incentivam a utilização em sala de aula do conhecimento produzido pelas pesquisas neurocientíficas (Cosenza e Guerra, 2011; Guerra, 2011).

Guy e Byrne (2013) afirmam que o acervo na área da neurociência apresenta um número considerável de publicações envolvendo aprendizagem e memória, porém muito pouco desta informação tem sido destinada à sala de aula. Estes autores ressaltam ainda que, um desenvolvimento científico mais consistente, pode exigir a integração interdisciplinar de pesquisas na área de psicologia, neurociência e educação, principalmente porque, atualmente, não existe um consenso sobre a natureza da aprendizagem.

Corroborar-se com Coch (2018), quando esse autor afirma que inserir o conhecimento neurocientífico no currículo do professor apresenta desafios e obstáculos, entre eles, a superação dos neuromitos e a noção de que muitos dos resultados obtidos de pesquisas não podem ser aplicados diretamente em sala de aula. A possibilidade de relacionar neurociência e ensino apresenta muitos benefícios, visto que o conhecimento acerca da importância da neuroplasticidade e suas implicações educacionais, bem como o reconhecimento do papel do ambiente na biologia cerebral, podem orientar novas estratégias pedagógicas mais efetivas para facilitar o ensino de conteúdos acadêmicos, contribuindo para o sucesso do aluno (Coch, 2018).

Neste artigo, os autores aproximam a neurociência do ensino de genética, uma área biológica que apresenta um vocabulário bastante específico e um elevado número de conceitos complexos e abstratos que a qualificam como uma das áreas biológicas mais difíceis de ensinar e

aprender (Santos, 2018; Santos, Francisco, Klein e Ferraz, 2016). Os conceitos e processos genéticos exigem dos alunos níveis variados de raciocínio e, dos professores, um conhecimento sólido do assunto somado às habilidades didáticas e à utilização de recursos didáticos diferenciados que contribuam para a construção coletiva do conhecimento.

Nas escolas públicas brasileiras o conteúdo de genética é ensinado na disciplina de biologia na terceira série do ensino médio. Há algum tempo que os pesquisadores sabem que a genética é um dos conteúdos biológicos mais temidos pelos alunos do ensino médio e graduação (Okebukola e Jegede, 1989), porém ainda percebe-se que há pouco interesse dos pesquisadores na publicação de trabalhos científicos envolvendo o ensino de genética nas escolas públicas brasileiras (Melo e Carmo, 2009).

Segundo Moura, de Deus, Gonçalves e Peron (2013), o ensino de genética no Brasil é descontextualizado, distante da realidade social dos alunos, os quais ficam alienados em relação aos assuntos abordados e as tecnologias emergentes da área. Para os referidos autores, a precariedade da formação docente, o excesso de carga horária dos professores, o livro didático como único instrumento de ensino e os recursos tecnológicos limitados, são alguns dos possíveis elementos que dificultam o ensino e aprendizagem desta ciência.

O ensino tradicional de genética é, assim, pautado predominantemente na transmissão de informações, sendo assim obsoleto e geralmente pouco eficaz, ainda mais para alunos atualmente considerados "nativos digitais", termo usado por Almeida e Lopes (2019). Estes autores ressaltam que a adoção de tecnologias digitais no ensino de ciências deixa a aprendizagem do conteúdo mais interessante e interativa. De fato, pesquisas apontam que atividades diferenciadas, como jogos e vídeos educativos, mapas conceituais, são bastante eficazes no ensino de genética (Brão e Pereira, 2015; Okebukola e Jegede, 1989; Oliveira, Antunes, Telles e Sabóia-Morais, 2012). As sequências didáticas, definidas como um "conjunto de atividades ordenadas, estruturadas e articuladas para a realização de certos objetivos educacionais" (Almeida e Lopes, 2019, p.2), se mostraram eficazes no ensino de diversos conteúdos de genética, como duplicação do ácido desoxirribonucleico (DNA), divisões celulares, leis mendelianas e biotecnologia (Machado, Machado, Nascimento e Oliveira, 2010; Sousa e Teixeira, 2014).

Diante do contexto apresentado, este artigo tem o objetivo de descrever as etapas e os resultados da implementação de uma sequência didática (SD) fundamentada nos pressupostos da neurociência para o ensino de genética.

Metodologia

Este estudo foi desenvolvido com uma turma de 29 alunos, sendo 19 do sexo masculino e 10 do sexo feminino, com idade média de 17 anos, da 3ª série do Ensino Médio, período matutino, de uma escola pública de um município do Estado do Paraná. O estudo ocorreu durante as aulas de Genética, conteúdo que integra a disciplina de Biologia. O referido estudo constituiu-se de um total de 21 encontros de 50 minutos cada, que aconteceram nos meses de setembro a dezembro de 2015. O autor-

pesquisador deste artigo, bem como o professor responsável pela disciplina, foram os regentes das atividades desenvolvidas.

Para a escolha dessa turma de alunos, consideraram-se os seguintes critérios: alunos com frequência e notas inferiores (1º e 2º bimestres) comparados aos demais alunos de outras turmas da 3ª série; interesse pela aprendizagem de conteúdos biológicos e o comportamento em sala de aula.

A sequência didática (SD) aplicada contemplou um conjunto de aulas de genética com atividades planejadas, conforme os fundamentos da *Brain-Based Learning* (Aprendizagem Baseada no Cérebro), uma abordagem multidisciplinar de ensino que engloba uma mistura eclética de técnicas baseadas em pesquisas sobre o funcionamento do cérebro para melhorar o aprendizado (Ramos, 2014). Desta forma, a SD foi elaborada visando apresentar o conteúdo de genética considerando as funções sensoriais e perceptivas e outras funções cognitivas dos alunos, como atenção, memória operacional e funções executivas, além de considerar a interação social, motivação e emoções, que estão intimamente vinculados à aprendizagem. Ademais, em todos os momentos, buscou-se apresentar o conteúdo de genética de forma contextualizada, sempre levando em conta os conhecimentos prévios dos alunos.

Os assuntos abordados nesta SD foram os conceitos básicos de Genética Molecular (DNA, gene e cromossomos), Histórico da Hereditariedade, Primeira e Segunda Lei de Mendel, Bases Físicas da Hereditariedade e Heredogramas. As leis mendelianas foram enfatizadas conforme o planejamento da disciplina realizado previamente pelo professor titular da disciplina de Biologia, com base no livro-texto de Brockelmann (2014).

Uma diversidade de recursos didáticos foi utilizada no decorrer dos encontros, como: figuras, textos, imagens, sons, vídeos, maquetes, jogos, objetos virtuais de aprendizagem, modelos didáticos e um mapa conceitual. É importante ressaltar que, durante a confecção dos materiais, priorizou-se a utilização de equipamentos de baixo custo e facilmente disponíveis, como instrumentos confeccionados com isopor, cartolina, lã, cola, imagens e vídeos retirados da internet.

As horas semanais dedicadas ao estudo de Biologia, bem como o interesse por conteúdos biológicos científicos foram avaliados pelas questões presentes na Figura 1.

Os conhecimentos prévios dos alunos sobre alguns temas de genética foram obtidos através de um questionário elaborado por Paiva e Martins (2005). O referido questionário apresenta 10 questões, as quais permitem avaliar o conhecimento dos alunos sobre a interação genoma-organismo-ambiente, estrutura e organização do material genético dos organismos e a capacidade de relacionar o conhecimento biológico científico com questões do cotidiano (Paiva e Martins, 2005).

Das 10 questões deste instrumento, três são perguntas e as demais são afirmações. Para as questões afirmativas, o aluno deveria apontar se concordava ou discordava. Em caso de desacordo, o aluno deveria reescrever a questão de maneira correta. Já as questões em forma de perguntas requeriam uma resposta descritiva, uma justificativa do aluno. Assim como no estudo de Paiva e Martins, (2005), foram consideradas

corretas as respostas ou justificativas que se aproximavam cientificamente do assunto em questão. Da mesma forma, foram consideradas erradas as respostas que fugiam totalmente do assunto. Para preservar a identidade dos alunos, bem como para um olhar mais individualizado das respostas, os alunos foram representados pela letra "A" (A1, A2, A3...).

1. Quantas horas por semana você se dedica ao estudo de Biologia?
 menos de uma hora
 de 1h a 2h
 de 2h a 3h
 de 3h a 4h
 mais de 4h
2. Quais dos assuntos biológicos científicos despertam seu interesse:
 Mapeamento Genético
 Clonagem
 Organismos geneticamente modificados (transgênicos)
 Síndromes Genéticas.
 Células-tronco.
 Outros. Quais: _____
 Não tenho interesse por assuntos biológicos científicos.

Figura 1.- Horas semanais dedicadas ao estudo de Biologia e o interesse por conteúdos biológicos científicos. (Fonte: os autores).

A Figura 2, a seguir, apresenta as questões do questionário:

- 1) Os cientistas afirmam que: "um clone de Mozart não será um novo Mozart, nem de Hitler um novo Hitler".
- 2) Cromossomos sexuais são encontrados nas células da pele humana.
- 3) Cada cromossomo contém apenas um gene.
- 4) Cada célula interfásica do nosso corpo tem 46 moléculas de DNA.
- 5) Quanto maior o número de cromossomos, mais evoluída é a espécie?
- 6) É impossível um ser humano fazer uma refeição cotidiana sem comer DNA.
- 7) A quantidade de DNA nos seres vivos é a mesma? Por que você pensa assim?
- 8) Os cientistas conseguiram identificar o código genético da espécie humana. Para você, isto seria suficiente para se fazer uma previsão de como um indivíduo vai ser no futuro? Explique sua resposta.
- 9) Já foi comprovado que o genoma humano tem uma similaridade de 99% com o do chimpanzé. Então, como você acha que pode ser possível identificar indivíduos e se determinar a paternidade através do DNA?
- 10) Um exame de DNA para averiguação de paternidade pode ser feito com qualquer tipo de material biológico de uma pessoa. Justifique.

Figura 2.- Questionário de Paiva e Martins (2005). Fonte: Paiva e Martins (2005).

O conhecimento de genética desenvolvido após a aplicação da SD foi mensurado com base nas respostas a cinco questões específicas de um instrumento diagnóstico intitulado *Two-tier Diagnostic Instrument for Genetics*, elaborado por Tsui (2002) e Tsui e Treagust (2010). Elegeram-se essas questões porque as mesmas contemplam o conteúdo enfatizado nesta SD, ou seja, a genética mendeliana. O referido instrumento foi empregado para avaliar a compreensão de genética de alunos australianos dos 10º e 12º ano. Os pesquisadores observaram que o teste apresenta índices de

confiabilidade e precisão significativos (Tsui e Treagust, 2010). O teste completo e traduzido para o português encontra-se em Santos (2018).

Resultados e discussões

As atividades propriamente ditas desta pesquisa iniciaram-se no segundo encontro com os alunos. O primeiro encontro foi dedicado basicamente à apresentação do pesquisador aos alunos, bem como para a descrição e discussão detalhada do trabalho que seria desenvolvido ao longo do semestre.

No segundo encontro, foram mensuradas as horas semanais dedicadas ao estudo de Biologia, o interesse por conteúdos biológicos científicos e os conhecimentos prévios dos alunos sobre alguns temas de genética. Os resultados mostraram que aproximadamente 65% dos alunos dedicam menos de 1 hora por semana ao estudo de Biologia, e entre os assuntos biológicos de maior interesse, percebeu-se que 52% dos alunos se interessam por clonagem. Cerca de 21% dos alunos não demonstram interesse por assuntos biológicos científicos. Assim, Biologia é um conteúdo que despertava pouco interesse nos alunos desta pesquisa.

As questões 1 e 8 do questionário de Paiva e Martins (2005) avaliaram as concepções dos alunos sobre a interação genoma-organismo-ambiente. Na questão 1, *Os cientistas afirmam que: um clone de Mozart não será um novo Mozart, nem um clone de Hitler um novo Hitler*, aproximadamente 48% das respostas foram consideradas como corretas (A1, A2, A4, A6, A8, A10, A13, A15, A16, A18, A22, A23, A25, A29). Vale lembrar que nesta e nas questões seguintes, foram desconsideradas as respostas que não apresentavam uma justificativa, como as respostas *sim/não* ou *concordo/discordo*.

Diversos alunos ressaltaram que um clone pode ter características físicas semelhantes ao indivíduo clonado, mas comportamentos, formas de pensar e personalidades diferentes. Entre as respostas consideradas corretas, pode-se citar: *Na aparência sim, mas não em seus atos, maneiras de pensar* (A13); e, *Concordo, pois apenas a aparência pode ser reproduzida da mesma forma, mas o caráter deve ser moldado* (A2 e A23). Como exemplo de respostas que fugiram do assunto, incompreensíveis ou errôneas, podem ser citadas: *Não concordo, pois é impossível fazer clone humano* (A5); e, *Concordo, pois quando você clona algo, o mesmo vai ser e agir da mesma forma* (A3, A27).

Schneider, Justina e Meghioratti (2011) utilizaram uma adaptação desta questão, que ficou descrita da seguinte forma: *Se fosse feito um clone seu, você acha que ele seria totalmente igual a você, tanto fisicamente como comportamental?* Estas pesquisadoras verificaram que muitos alunos afirmaram que um clone poderia ter as mesmas características físicas do indivíduo clonado, mas não comportamentos, respostas essas que foram semelhantes às de uma parcela dos alunos do presente estudo.

A questão 8: *Os cientistas conseguiram identificar o código genético da espécie humana. Para você, isto seria suficiente para se fazer uma previsão de como um indivíduo vai ser no futuro? Explique sua resposta.* Para esta questão, aproximadamente 54% dos alunos (A2, A4, A8, A10, A13, A15,

A16, A18, A22, A23, A25, A26, A28 e A29) apresentaram uma resposta compatível com o esperado. Como exemplo, *Não, pois a genética não determina todos os comportamentos (A2 e A23); Não, pois o ser humano se adapta dependendo do lugar onde está, pois o clima e até o que comem é diferente em diversos lugares (A10 e A18)*. Alguns alunos (A1, A3, A5, A6, A7, A9, A12, A14, A17, A19, A24, A27) apresentaram respostas incorretas, incompreensíveis ou incompatíveis, como exemplos, destas respostas, *Sim, sabendo o código genético consegue deduzir como será a pessoa no futuro (A3 e A27); Sim, porque hoje tem muita tecnologia (A5)*.

A partir dos resultados de ambas as questões, podemos deduzir que aproximadamente 50% dos alunos mostraram algum conhecimento da interação genoma-ambiente, porém suas concepções foram restritas aos conceitos de genótipo, fenótipo e ambiente, sem considerar o papel do organismo e sua história de vida. As concepções dos alunos desta pesquisa denotam uma visão tradicional das relações inerentes ao sistema genótipo-fenótipo, segundo a qual os seres vivos são limitadamente considerados como produtos da interação entre genes e ambiente, desconsiderando o organismo e sua história de vida como elementos fundamentais desta interação (Justina, Meglhioratti e Caldeira, 2012).

Schneider, Justina e Meglhioratti (2011) trabalharam um módulo didático que possibilitou analisar a evolução dos estudantes no entendimento da interação entre gene-organismo-ambiente. Estas pesquisadoras perceberam que somente 18% dos alunos declararam que não se pode prever o fenótipo de um sujeito considerando somente o seu genótipo. Como dado adicional, estas pesquisadoras observaram que a maioria dos alunos apresentava uma concepção determinista do DNA, ou seja, que essa molécula determina todas as características do indivíduo sejam elas: físicas, comportamentais e patológicas.

Após a aplicação do referido módulo didático, Schneider, Justina e Meglhioratti (2011) verificaram que os estudantes passaram a incluir o organismo em suas concepções sobre as interações entre genótipo e ambiente para produzir um fenótipo. As pesquisadoras concluíram que o ensino de genética é, muitas vezes, pautado em um discurso reducionista e determinista, por isso o professor de Biologia precisa elucidar sempre a interação mútua que ocorre entre o genoma, o organismo e o ambiente.

Em seu artigo, Justina, Meglhioratti e Caldeira (2012) propuseram um modelo explicativo bastante didático para o estudo da relação entre genótipo e fenótipo em uma visão integrada, e destacam a centralidade do organismo no desenvolvimento biológico, rompendo com o reducionismo ambiental e genético tradicional. Estas autoras destacam cinco pontos importantes a serem considerados para se entender a relação entre fenótipo, genótipo, organismo e ambiente:

- (1) considerar o desenvolvimento do organismo como conceito-chave que necessita ser explicitado;
- (2) compreender o genótipo como flexível em seu desenvolvimento, tanto em aspectos morfológicos como comportamentais – genótipo potencial;
- (3) considerar o ambiente físico relevante para um organismo foco, incluindo a herança ambiental e os fatores ambientais aleatórios;
- (4) conceber o fenótipo como variável ao longo do desenvolvimento e dependente do fenótipo

anterior ao momento atual; (5) incluir o organismo como ente ativo que modifica o meio e a ele próprio (Justina, Meglhioratti e Caldeira, 2012, p.80).

As respostas para as questões 1 e 8 fornecem a oportunidade para se realizar uma crítica importante em relação ao ensino e pesquisa no campo das Ciências Biológicas. Meglhioratti, El-Hani e Caldeira (2012) afirmam que o conceito de organismo perdeu sua centralidade como objeto de estudo na Biologia. A ênfase em aspectos moleculares, químicos e físicos, por exemplo, acaba por fazer com que a Biologia perca seus status de ciência autônoma. Os aspectos físico-químicos e moleculares são importantes para a compreensão dos fenômenos biológicos, porém estes não podem ser explicados a partir de uma abordagem reducionista.

O organismo precisa ser estudado em sua totalidade, como entidade ativa na interação com o ambiente, e não apenas algo passivo que sofre ação de fatores evolutivos e genético-moleculares. O organismo precisa retomar seu status como objeto de estudo da biologia, tanto no campo da pesquisa científica quanto no âmbito do ensino. Retomar o conceito de organismo permite situar ou demarcar a biologia como ciência autônoma, com objeto de estudo próprio, delineando contornos em relação a outros domínios, como a química (Meglhioratti, El-Hani e Caldeira, 2012).

O segundo grupo de questões (2, 3, 4, 5 e 7) avaliaram o conhecimento dos alunos sobre a estrutura e organização do material genético de diferentes organismos (Paiva e Martins, 2005). Questionados se os *Cromossomos sexuais são encontrados nas células da pele humana* (questão 2), nenhum aluno soube responder de forma coerente, com justificativas distantes do conceito científico. Ex. *Eu acho que sim/não me lembro do assunto cromossomos, mas acho que sim* (A13); *Concordamos, porque é um ser sexual* (A4, A22). Em torno de 23% dos alunos (A3, A7, A8, A14, A16 e A27) responderam que os cromossomos sexuais são encontrados somente nos órgãos sexuais. Exemplos: *Não, eles se encontram nos órgãos sexuais internos* (A7, A14) e *Não, cromossomos sexuais estão nos órgãos sexuais* (A3, A27).

A crença de que os cromossomos sexuais são encontrados apenas em órgãos reprodutivos ou em gametas permeou toda a presente pesquisa. Isto ocorreu mesmo sendo declaradas inúmeras vezes que os cromossomos sexuais estão presentes em todas as células, com exceção às hemácias, que não apresentam material genético nuclear. Segundo Paiva e Martins (2005), é importante que os alunos compreendam que os genes estão presentes em todos os tipos celulares, porém em alguns encontram-se inativos, ou seja, sobre um processo de regulação gênica.

A questão 3 *Cada cromossomo contém apenas um gene*. Em torno de 69% dos alunos (A4, A5, A7, A8, A9, A10, A13, A14, A15, A16, A17, A18, A19, A22, A25, A26, A28, A29) responderam corretamente. Foram consideradas corretas tais respostas: *Não concordo, cada cromossomo possui mais de um gene* (A4, A22); *Não, o cromossomo carrega uma carga genética complexa* (A15). Foram encontradas algumas justificativas confusas ou incompatíveis com o proposto na afirmação: afirmativas do tipo *Não, tem 2 genes* (A1 e A3) ou *Não, ele pode ter vários conforme as misturas de genes* (A13), *Não, possui pares de alelos distintos* (A2 e A23).

Estas concepções demonstram confusão entre o conceito de cromossomo, genes e alelos, mostrando que os alunos não aprenderam o conceito de DNA, gene e cromossomo, assim como a relação entre eles. Curiosamente, alguns alunos confundiram o material genético com célula *Cada célula do DNA contém 46 moléculas* (A25, A29).

Entender a relação entre DNA, gene e cromossomo é essencial para compreender novos conteúdos em genética como os abordados nesta SD. No entanto, como apontam Paiva e Martins (2005), em geral, os professores apresentam os conceitos de DNA, gene e cromossomo de forma desconectada ou isolada, o que dificulta o estabelecimento, por parte dos alunos, das relações lógicas entre eles.

De acordo com o currículo escolar, estes conceitos foram trabalhados em anos anteriores, no conteúdo de citologia e biologia molecular. Contudo, tendo em vista o grande número de confusões e erros conceituais importantes, conclui-se que não ocorreu o aprendizado.

A questão 4 *Cada célula interfásica do nosso corpo tem 46 moléculas de DNA*. Esta afirmação apresentou alto nível de dificuldade para os alunos, e nenhum declarou conhecer a interfase, uma das fases do ciclo celular. A maioria dos alunos deixou claro que não sabiam o significado da afirmação (A1, A3, A4, A5, A6, A10, A13, A15, A18, A22, A27, A23, A24, A26, A28) ou atribuíram respostas sem justificativa (sim, não, concordo, discordo), as quais não foram consideradas.

Esta questão também revelou déficits importantes na aprendizagem da relação entre DNA, gene e cromossomo. Entre as respostas que claramente revelaram problemas na aprendizagem dessa relação, pode-se citar: *Não, pois são 52 moléculas* (A8 e A16); *Cada célula do DNA contém 46 moléculas* (A25 e A29); *Não, nosso corpo tem 48 moléculas* (A9); *Não, contém mais de 46 moléculas* (A17); e, *Não, contém 48 moléculas* (A19).

Na questão 5 perguntou-se: "Quanto maior o número de cromossomos mais evoluída é a espécie?" Para essa questão, aproximadamente 42% dos alunos (A2, A4, A7, A8, A14, A16, A22, A23, A24, A25, A29) responderam corretamente. Entre as respostas corretas, citamos: *Não, a evolução não depende apenas dos cromossomos* (A8, A16); *Não, pois algumas pessoas com síndromes genéticas possuem cromossomos a mais, mas isso não significa maior evolução* (A2, A23).

Observaram-se algumas respostas confusas e incoerentes, bem como uma confusão da relação entre a evolução biológica e o cromossomo, pois alguns alunos afirmaram que a evolução não tem relação com os cromossomos. Como exemplos, *Os cromossomos não têm a ver com a evolução e sim com a adaptação* (A10, A18) e *Não tem nada a ver, o número de cromossomos não muda na evolução* (A13).

A partir desta questão, percebeu-se que muitos alunos não entenderam que uma quantidade maior de cromossomos não determina o nível de evolução de uma espécie, pois muitos organismos apresentam mais cromossomos que os seres humanos e são menos evoluídos (Paiva e Martins, 2005). Levando em conta que o tema *evolução* foi trabalhado no bimestre anterior, esperava-se que esse conhecimento estivesse presente na maioria das respostas dos alunos. Pelo contrário, a quantidade de

informações confusas sobre a evolução biológica sugere de que os alunos não aprenderam os conceitos evolutivos.

Aliás, como declarado acima, alguns alunos (A3, A22, A5, A10, A18, A13), equivocadamente, responderam que os cromossomos não têm nenhuma relação com a evolução. É sabido que durante o tempo evolutivo ocorreram inúmeras mutações no material genético dos organismos, permitindo o surgimento de novas espécies no planeta que constituem a biodiversidade encontrada nos tempos atuais.

Neste estudo, e no de Paiva e Martins (2005), observou-se que mesmo afirmando que um número maior de cromossomos não significa maior evolução, os alunos não deixaram claro em suas respostas que a evolução implica em mudanças no material genético.

Já na questão 7 indagou-se: *A quantidade de DNA nos seres vivos é a mesma? Por que você pensa assim?* Considerou-se como correta aproximadamente 69% das respostas (A1, A3, A4, A5, A6, A7, A8, A10, A12, A13, A14, A15, A16, A18, A22, A25, A27, A29). Entre as respostas corretas, pode-se citar: *Não, varia de cada espécie* (A3, A27); *Não, pois cada espécie tem a quantidade de DNA que define o que a espécie é. Se todos tivessem a mesma quantidade, todas as espécies seriam iguais* (A10, A18); *Não, pois diferem de seres humanos, plantas e animais* (A25, A29).

Nesta questão, consideraram-se vários tipos de respostas. Contudo, assim como no estudo de Paiva e Martins (2005), nenhuma resposta mencionou que a quantidade de DNA depende do tamanho e número de cromossomos que um organismo apresenta.

As questões 6, 9 e 10 avaliaram, basicamente, a capacidade dos alunos de relacionar o conhecimento biológico científico com questões cotidianas (Paiva e Martins, 2005). A questão 6, *É impossível um ser humano fazer uma refeição cotidiana sem comer DNA?* foi respondida e justificada corretamente pela maioria dos alunos, aproximadamente 73%, (A1, A2, A3, A4, A6, A7, A8, A9, A13, A14, A15, A16, A17, A19, A22, A23, A25, A27, A29). Entre as respostas corretas, pode-se citar: *Não, pois tudo tem DNA (verduras, carnes...)* (A7, A14); *Não, pois tudo o que é vivo tem DNA* (A8, A16); *Sim, é impossível, porque a maioria dos alimentos contêm DNA, mesmo na mastigação o ser humano engole sua saliva e seu próprio DNA* (A25, A29).

A questão 9 indagou o seguinte: *Já foi comprovado que o genoma humano tem uma similaridade de 99% com o do chimpanzé. Então, como você acha que pode ser possível identificar indivíduos e se determinar a paternidade através do DNA?*

Assim como no estudo de Paiva e Martins (2005), esta questão gerou grande dificuldade para os alunos. Considerou-se como corretas vários tipos de respostas, algumas mais completas e mais elaboradas que outras.

Em torno de 46% dos alunos (A1, A3, A4, A6, A8, A13, A16, A17, A22, A25, A27, A29) responderam corretamente. Entre as respostas corretas ou que mais se aproximaram foram: *Porque o DNA dos pais é parecido com o dos filhos* (A4, A22); *Sim, pela quantidade de moléculas de DNA e a ordem dos genes* (A1, A6). Aproximadamente, 31% dos alunos (A5, A9, A10, A12,

A18, A19, A26, A28) responderam *não sei, sim* ou *não* ou sequer responderam. Consideraram-se errôneas ou incompatíveis as seguintes respostas: *Sim, pelo fenótipo* (A2, A23); *Sim, porque a diferença é pouca* (A24); *Sim, pois pelo DNA podemos identificar o parentesco* (A7, A14).

A questão 10 afirmou que: *Um exame de DNA para averiguação de paternidade pode ser feito com qualquer tipo de material biológico de uma pessoa. Justifique.* Foram consideradas como corretas aproximadamente 73% das respostas dos alunos (A1, A2, A3, A4, A6, A7, A9, A10, A13, A14, A15, A17, A18, A22, A23, A24, A25, A27, A29). Entre as respostas corretas, pode-se citar: *Sim, pois temos DNA em todo o nosso corpo* (A1, A6); *Sim, pois encontra-se DNA na saliva, cabelo e unhas por exemplo. Até mesmo num toque em algum objeto* (A25, A29); *Sim, porque todas as partes do ser humano contêm DNA* (A10, A18).

Nesta última questão, assim como observado no estudo de Paiva e Martins (2005), nem todas as respostas apontaram que o material genético se encontra no interior das células, com exceção da resposta do aluno A15, que afirmou *Sim, todas as células do nosso corpo possuem DNA*.

As respostas encontradas nesta questão foram similares às encontradas no estudo de Pedrancini, Corazza e Galuch (2011). Em seu estudo, os referidos pesquisadores verificaram que, quando o professor questionou seus alunos em quais células se encontra o DNA, a maioria se restringiu a células da pele, unha, cabelo e sangue. Os alunos mencionaram apenas os tipos celulares comumente usados pela medicina forense e testes de paternidade, que são amplamente divulgados em programas de televisão. Diante disso, suspeita-se que os alunos desconhecem a presença de DNA em outros tipos celulares como neurônios, células musculares, entre outros.

De maneira geral, as respostas às questões 6, 9 e 10 do questionário de Paiva e Martins (2005) indicaram que os alunos tiveram êxito em relacionar o conhecimento biológico científico com questões cotidianas. Contudo, nas demais questões, notou-se claramente que os alunos participantes desta pesquisa apresentavam poucos conhecimentos prévios acerca da estrutura e função do material genético dos organismos e concepções equivocadas sobre a relação genoma-organismo-ambiente.

Aplicação da sequência didática

Os recursos e estratégias de ensino utilizadas nesta SD basearam-se nos conhecimentos prévios dos alunos, para que os mesmos pudessem formular seus conceitos a partir de conceitos pré-existentes em sua estrutura cognitiva. Os conhecimentos prévios funcionam como âncora ou ponto de partida para novas aprendizagens (Ausubel, Novak e Hanesian, 1978).

O fator contextualização do conteúdo também foi considerado em todos os momentos da intervenção. Como dito na introdução deste artigo, o ensino de genética, nas escolas públicas brasileiras, é considerado abstrato e distante do cotidiano dos alunos, por isso precisa ser reformulado e fatores contextuais precisam ser considerados (Moura et al., 2013).

Como será descrito no decorrer deste artigo, nesta SD, foi utilizada uma diversidade de recursos didáticos multissensoriais, estimulando diferentes acessos sensoriais e perceptivos, atenção, memória, funções executivas,

além de fatores intimamente vinculados à aprendizagem, como as emoções e a interação social. Ramos (2014) afirma que os recursos multissensoriais têm sido amplamente utilizados no estudo individual e em escolas, melhorando, potencialmente, a aprendizagem. Ademais, os recursos didáticos multissensoriais são importantes para aumentar o acesso de informações depositadas no cérebro e para ativar múltiplas redes neurais que estabelecem associação entre si (Guerra, 2011).

Em todos os encontros, diversas atividades e estratégias foram empregadas visando aumentar o nível de atenção, motivação, interesse e memória operacional dos alunos. De acordo com Guy e Byrne (2013), a memória operacional desempenha um papel crucial na aprendizagem, facilitando a formação, fortalecimento e expansão da memória de longo prazo. Assim, buscando facilitar a atenção e memória operacional dos alunos, focaram-se os pontos principais do conteúdo e removeram-se distratores em potencial, como grupos formados por "panelinhas" e/ou alunos indisciplinados.

Adicionalmente, o professor evitou a exposição extensa do conteúdo, dividindo o tempo total de cada encontro (50 minutos) da seguinte forma: 25 minutos de desenvolvimento de conteúdo, 5 minutos de descanso, 20 minutos de exposição do conteúdo. Nestes 5 minutos de descanso, os alunos tiveram um momento para descontração ou descanso (conversar com os colegas, contar piadas, entre outros). Esses momentos de descontração, além de facilitar a atenção, promovem uma higiene mental, importante para evitar a sobrecarga da memória operacional (Cosenza e Guerra, 2011).

Em todos os momentos do processo de intervenção, um grande esforço foi empregado para tornar o conteúdo de genética o mais concreto possível. Sabia-se, desde o princípio, que os conceitos que seriam abordados (DNA, genes, cromossomos e o ciclo celular) são elementos microscópicos de difícil visualização. Contudo, esses conceitos e processos são, acima de tudo, elementos físicos e concretos do mundo real. Assim, foram implantadas atividades de colagem, maquetes diversas, imagens, vídeos e outros recursos tecnológicos, como objetos virtuais de aprendizagem, buscando sempre auxiliar o processo de aprendizagem e tornar o encontro mais interessante e motivador.

Segundo Zull (2002), mesmo sabendo que nem todas as ideias abstratas podem ser concretizadas no mundo real, os professores devem conduzir o processo de ensino-aprendizagem a partir da experiência concreta. Tornar concreto o conteúdo a ser aprendido apresenta sustentação na teoria neurocientífica, pois as redes ou circuitos neurais formados no cérebro dos aprendizes, a partir da mesma experiência sensorial concreta, são semelhantes. Contudo, Zull (2002) alerta que está se falando da mesma experiência sensorial, mas não perceptiva, a qual é singular e depende de redes neurais distintas. Traduzindo para esta SD, os alunos foram apresentados aos mesmos recursos didáticos, tiveram experiências sensoriais parecidas, porém cada aluno certamente interpretou ou percebeu de maneira distinta.

Adicionalmente, Zull (2002) afirma que o professor deve começar o processo de ensino com exemplos concretos, pois o abstrato terá mais

significado quando estabelece conexões com as redes neurais formadas na experiência concreta. É por isso que o ensino de medicina deve começar com o contato com pacientes e o ensino de genética com a abordagem dos traços familiares dos alunos, como realizado neste estudo, por exemplo, na contextualização das leis mendelianas, descritas adiante.

Esta SD também buscou enfatizar a interação social. A maioria dos trabalhos foi realizada em grupo, seguidos de apresentação oral. A interação intergrupos foi incentivada. A interação social é importante na aprendizagem, e segundo Ramos (2014, p. 268), "o cérebro é social, desenvolve-se melhor em contato com outros cérebros".

A literatura científica mostra que o cérebro humano é eminentemente social e evoluiu para interagir com outros cérebros, sendo um instrumento hábil para compreender, entender e aprender na interação social. A partir das suas redes neurais, os seres humanos estão sempre mapeando o que os outros estão sentindo e pensando, bem como aquilo que estão fazendo ou prestes a fazer. Estes dados desempenham um papel crítico sobre a própria cognição do indivíduo, o qual procura agir em conformidade com o que está sendo requisitado na situação social (Blakemore, 2012).

A SD foi desenvolvida a partir do terceiro encontro. As atividades iniciaram-se a partir do estudo das principais teorias da hereditariedade anteriores a Mendel, como pangênese, pré-formismo, geração espontânea, epigênese e teoria da mistura. O vídeo *Evolução das Ideias sobre Herança Biológica e Conceitos Básicos em Genética*, foi utilizado como material complementar à aula expositiva. Este vídeo encontra-se gratuitamente no Youtube.

O período compreendido entre o quarto e oitavo encontro foi dedicado ao estudo da Primeira Lei de Mendel ou Lei da Segregação dos Fatores. Para contextualizar o assunto, inicialmente, realizou-se uma discussão sobre algumas características monogênicas, a partir de questões como: *Quem consegue dobrar a língua em U?*; *Quantos alunos possuem lóbulo da orelha solto?* entre outras. Em seguida, foi apresentado o vídeo *Mendel e a ervilha: uma estranha ervilha na viagem*, produzido pelo canal National Geographic. Estes recursos foram úteis para a discussão de características monogênicas, sendo que os conceitos recessividade e dominância, homocigoto e dominante, linhagens puras e híbridas, também foram apresentados.

Como ressaltam Borges, Silva e Reis (2017), para alguns alunos, a fonte das dificuldades do aprendizado das Leis de Mendel está na ausência de recursos ou materiais didáticos e criativos, que tornam as aulas mais interessantes e criativas. Assim, o emprego de recursos didáticos interativos, como os vídeos e animações, é crucial no ensino de genética.

Uma série de exercícios básicos, envolvendo características monogênicas foi empregada. Segundo o professor da disciplina de biologia, é preciso trabalhar intensa e detalhadamente os exercícios sobre os cruzamentos monóibridos, pois somente com um conhecimento sólido sobre os mesmos é possível entender os princípios básicos da hereditariedade, os principais conceitos, a Segunda Lei de Mendel e outros temas relacionados.

A repetição é um fator fundamental para o aprendizado. Guerra (2011) declara que "se as informações/experiências forem repetidas, a atividade

mais frequente dos neurônios relacionados a elas, resultará em neuroplasticidade e produzirá sinapses mais consolidadas” (Guerra, 2011, p.6). Assim, os professores devem trabalhar os tópicos diversas vezes e por diferentes perspectivas e, com isso, aprofundar o conteúdo estudado.

A partir dos exercícios realizados, dificuldades foram observadas, tanto na realização dos cruzamentos monoíbridos quanto na compreensão de conceitos como genótipo e fenótipo, híbrido e puro, homozigoto e heterozigoto.

Em um estudo recente, Borges, Silva e Reis (2017) afirmaram que os alunos têm dificuldades em assimilar os conceitos da primeira lei, porque se trata de um conteúdo com vocabulário excessivo e específico, com terminologias difíceis e parecidas. Os conceitos da genética clássica contemplam grande parte do currículo de biologia da terceira série do ensino médio das escolas públicas brasileiras, portanto, foram abordados com ênfase na maioria dos encontros desta SD.

Tem-se clareza de que as questões do questionário de Paiva e Martins (2005) abordaram conceitos, temas e processos mais básicos da genética. Contudo, as respostas dos alunos a essas questões proporcionaram um rico conteúdo que, além de elucidar os conhecimentos prévios de genética dos alunos, nortearam os encontros dedicados à revisão de conteúdos, descritos adiante, bem como o trabalho desenvolvido como um todo, que também exigiu outras habilidades dos alunos, como o raciocínio matemático.

As dificuldades apresentadas na compreensão dos conceitos e na realização dos cruzamentos monoíbridos, exigiram uma atividade “mais concreta” com objetivo de reforçar conceitos de puro e híbrido, além do próprio cruzamento monoíbrido. A atividade consistiu em construir as proporções genotípicas e fenotípicas a partir da colagem de figurinhas com os respectivos fenótipos.

As atividades despertaram grande interesse nos alunos. No entanto, mesmo com todos os recursos didáticos empregados, os alunos apresentaram dificuldade em compreender a Primeira Lei de Mendel, os conceitos relacionados (puro e híbrido, recessivo e dominante, homozigoto e heterozigoto), bem como os cálculos matemáticos requeridos para se obter as proporções genotípicas e fenotípicas nos exercícios.

Dificuldades parecidas foram observadas por Fabrício, Jófili, Semen e Leão (2006) em um estudo realizado com alunos da segunda série do Ensino Médio de uma Escola Pública Federal Brasileira. Os participantes de tal pesquisa mostraram dificuldades na assimilação de conceitos relacionados à Primeira Lei e na construção e realização de cálculos matemáticos relacionados ao Quadro de Punnett. Contudo, segundo os pesquisadores, o mais preocupante é que as dificuldades encontradas em estudantes do ensino médio persistiram em licenciandos em Ciências Biológicas, que serão futuros professores de Ciências e Biologia (Fabrício et al., 2006). Para entender as leis de Mendel, segundo Borges, Silva e Reis (2017), é preciso:

(...) uma boa abordagem do conteúdo pelo professor em sala de aula, o domínio da matemática, principalmente do assunto de probabilidade, pois esta é um elemento essencial para a aprendizagem

dos cálculos genéticos e o hábito de estudar constante e rotineiramente também pode facilitar o aprendizado desses conteúdos (Borges, Silva e Reis, 2017, p. 70).

Uma revisão de conceitos e processos básicos de genética (ex. DNA, gene, cromossomos, replicação e transcrição do DNA, síntese de proteínas) foi empregada no nono e décimo encontro, buscando minimizar a fragmentação do conteúdo e as diversas concepções errôneas de conceitos básicos de genética observados nas respostas ao questionário de Paiva e Martins (2005). Para a revisão dos referidos conteúdos, além da aula expositiva-dialogada com projetor de imagem, o professor e o pesquisador utilizaram diversos recursos didáticos, como maquete do DNA, gene e cromossomo (Figura 3) e alguns vídeos relacionados ao assunto.

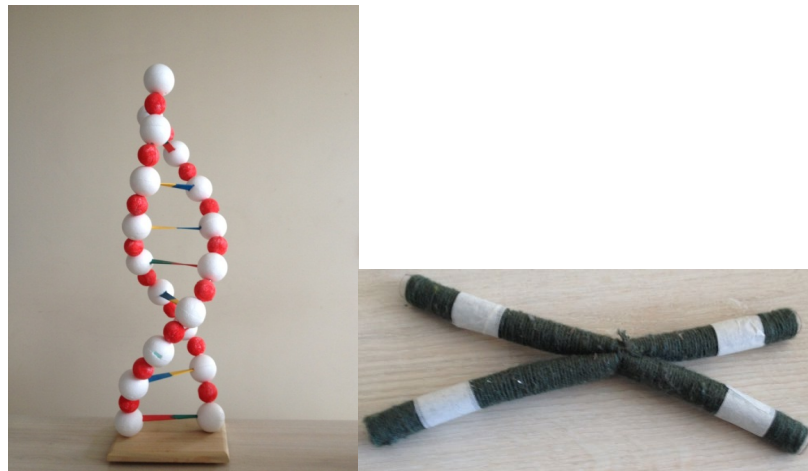


Figura 3.- Maquete do DNA e cromossomo. (Fonte: os autores).

A maquete do DNA foi construída com uma base de madeira medindo 10x15cm, duas hastes de arame, bolinhas de isopor, espátula de madeira, tinta guache (vermelha, amarela, azul, verde). As bolas brancas representam o açúcar desoxirribose; as vermelhas, o radical fosfato; e, as espátulas, as bases nitrogenadas, sendo: azul (guanina), amarelo (citosina), vermelho (timina) e verde (adenina). A maquete do cromossomo foi construída com tubos flexíveis transparentes atóxicos, lã cor verde escuro, fita crepe e caneta. Inicialmente, foram cortados os tubos plásticos em tamanhos iguais (aproximadamente 12cm), representando os braços do cromossomo. Em seguida, cada tubo foi incorporado, em toda sua extensão, à lã. A Figura 3 mostra um cromossomo submetacêntrico, pois os braços (tubos enovelados) foram unidos um pouco afastados do centro, ou seja, o centrômero não se encontra no meio do cromossomo. A fita crepe representa os alelos de um determinado gene, identificados por símbolos, por exemplo: gene Aa, AA, bb e, assim por diante.

É importante deixar claro que uma revisão minuciosa de conteúdos é mais adequada no início do trabalho, ou seja, antes da introdução de conceitos da genética mendeliana. Entretanto, como dito anteriormente, a orientação do livro-texto e a programação da disciplina de Biologia da 3ª série afirmava claramente que o conteúdo de genética se iniciaria na genética mendeliana. Assim, teoricamente os conceitos como estrutura e

funcionamento celular e divisões celulares, importantes para o estudo de genética, foram abordados na primeira e segunda séries.

Durante o 11º e 12º encontro, o professor apresentou a base cromossômica da Primeira Lei e realizou um reforço dos processos de divisão celular (mitose e meiose). O vídeo *Câncer*, produzido pela Medical Media - TV Saúde, permitiu a contextualização do assunto. O vídeo intitulado *Meiosis - The continuation of life!*, de Gregorio Educational Production, também foi utilizado para o estudo da meiose. Ambos os vídeos encontram-se disponíveis no YouTube.

Uma maquete da divisão celular (Figura 4), mostrando a base cromossômica da primeira Lei de Mendel foi construída. Esta maquete apresentou uma parte da meiose, para mostrar o princípio da formação dos gametas. A referida maquete foi construída com uma placa de isopor de 100 x 50cm, espessura de 10mm. Os desenhos foram realizados em cartolina com caneta hidrográfica preta e, posteriormente, foram colados na placa de isopor. A cromatina foi representada com fios de lã azul e rosa. Os cromossomos foram construídos com o mesmo material referido anteriormente.

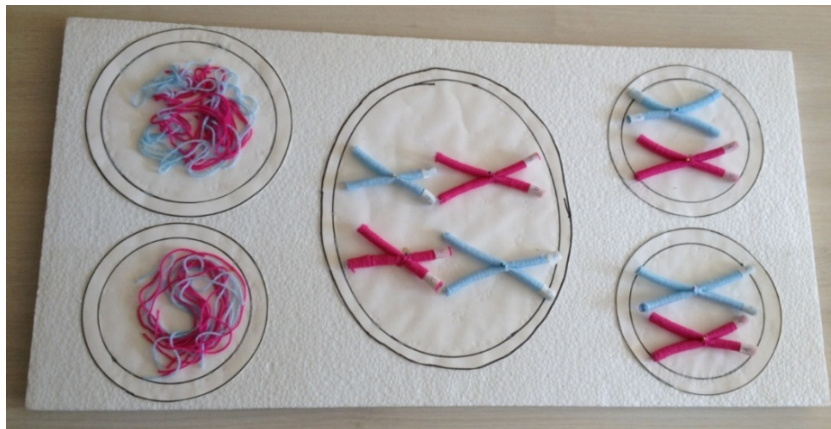


Figura 4.- Maquete da divisão celular. (Fonte: os autores).

Para avaliar e reforçar a aprendizagem dos conceitos estudados foi entregue uma palavra cruzada como tarefa de casa. Percebeu-se pouco interesse dos alunos nesta atividade, e somente 52% dos alunos a entregaram, muitos em período posterior ao determinado. Mesmo com tempo disponível e a possibilidade de consulta a diversas fontes bibliográficas, a média de erros dos alunos na execução da palavra cruzada foi de aproximadamente três itens por aluno. Além disso, 40% dos alunos apresentaram erros de português na palavra cruzada, como "pangenide" (pangênese), "Mendeo" (Mendel), "heterosigoto" (heterozigoto), "homoziboto" (homozigoto), "emiosi" e "meiosi" (meiose), entre outros.

A partir do 13º até o 16º encontro, o professor trabalhou a Segunda Lei de Mendel. Como recursos didáticos, o professor utilizou aulas expositivas, com auxílio do quadro negro e data show. O capítulo *A Segunda Lei de Mendel* (Brockelmann, 2014, p.27-29) foi usado como referência. Os alunos fizeram alguns exercícios envolvendo cruzamentos diíbridos, de forma semelhante ao que fizeram na primeira lei. Um objeto virtual de

aprendizagem (OVA) produzido pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) foi utilizado para complementar o processo de aprendizagem. O referido OVA encontra-se disponível em Santos, Santoro e Galembeck (2014).

O último conteúdo desta SD foi apresentado no 17º e 18º encontros: Heredogramas. Com auxílio do capítulo *Herança Dominante e Recessiva* (Brockelmann, 2014, p.33-37), o professor apresentou os principais símbolos usados em heredogramas, ensinando seus alunos a construir e interpretar heredogramas de doenças recessivas e dominantes.

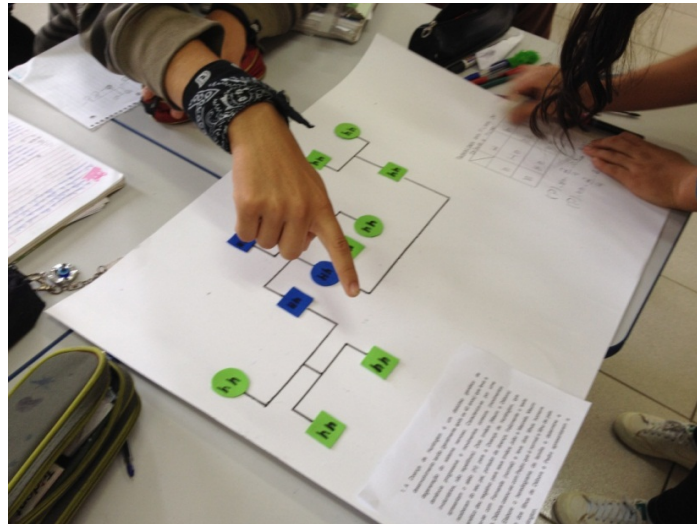


Figura 5.- Construção e interpretação de heredogramas. (Fonte: os autores).

Inicialmente, para contextualizar o assunto, o pesquisador passou uma parte do videodocumentário intitulado: *Convivendo com a Doença de Huntington*. Este videodocumentário foi produzido por alunos de jornalismo da Universidade Anhembi Morumbi, sem fins lucrativos, com o apoio de diversas instituições, entre elas, a Associação Brasil Huntington. O referido documentário encontra-se disponível no site youtube no seguinte endereço: "<https://www.youtube.com/watch?v=Dp-K5ocQVbI>".

Os alunos construíram heredogramas de algumas doenças genéticas. Para esta atividade, o professor passou algumas situações-problemas, sendo um caso de neurofibromatose, daltonismo, Doença de Huntington entre outros. Os alunos utilizaram cartolina, etileno acetato de vinila (EVA), cola, canetinhas coloridas, régua e tesoura para confeccionar seu heredograma.

No 19º encontro realizou-se uma discussão de um mapa conceitual dos conceitos trabalhados. O professor e o pesquisador pediram que os alunos utilizassem o mapa conceitual como forma de orientação do seu estudo. Este mapa conceitual encontra-se publicado em Santos, Ferraz, Klein e Francisco (2019).

A Tabela 1, a seguir, apresenta, resumidamente e sequencialmente, os conteúdos trabalhados e estratégias didáticas empregados nesta SD.

O jogo das três pistas, empregado no 20º encontro, colaborou para reforçar o entendimento dos conteúdos trabalhados na SD. O jogo

encontra-se publicado em Santos e colaboradores (2019), onde detalhadamente estão descritas as regras e os objetivos do jogo.

Atividades e/ou conteúdos desenvolvidos	Estratégias didáticas
1º encontro: - Apresentação do pesquisador aos alunos; - Descrição e discussão detalhada do trabalho que seria desenvolvido ao longo do semestre.	
2º encontro: - Avaliação do interesse dos alunos por conteúdos biológicos científicos. - Mapeamento dos conhecimentos prévios dos alunos sobre alguns temas de genética.	- Questões gerais sobre o interesse dos alunos por conteúdos biológicos científicos. - Questionário de Paiva e Martins (2005).
3º encontro: Primeiras teorias sobre a hereditariedade.	Vídeo.
4º, 5º, 6º, 7º e 8º encontros: Primeira Lei de Mendel e discussão dos conceitos: - Genótipo e fenótipo. - Linhagens puras e híbridas. - Homozigoto e heterozigoto. - Recessividade e dominância.	Vídeos diversos. Tirinhas retratando determinadas características fenotípicas. Colagem de figurinhas com o fenótipo de animais visando reforçar o estudo do genótipo e fenótipo. Exercícios envolvendo cruzamentos monoíbridos.
9º e 10º encontros: Revisão de conceitos e processos básicos de genética (DNA, RNA, gene, cromossomos).	Vídeos, maquete do DNA e cromossomo.
11º e 12º encontros: Divisões celulares (mitose e meiose) e a base cromossômica da Primeira Lei de Mendel.	Maquete da divisão celular e vídeos diversos. Palavras cruzadas.
13º, 14º, 15º, 16º encontros: Segunda Lei de Mendel.	Exercícios envolvendo cruzamentos diíbridos. Objeto virtual de aprendizagem.
17º e 18º encontros: Heredogramas	Videodocumentário. Construção e interpretação de heredogramas.
19º encontro: Panorama geral dos conceitos trabalhados na SD.	Mapa conceitual.
20º encontro: Reforço dos conceitos trabalhados.	Jogo das três pistas.

Tabela 1.- Descrição das atividades desenvolvidas nesta SD. Obs: em todos os encontros o professor utilizou uma aula expositiva e dialogada, com o giz e quadro negro e/ou data show.

No 21º e último encontro, para avaliar o conhecimento de genética desenvolvido, os alunos responderam individualmente a cinco questões envolvendo padrões de herança monogênica, presentes no *Two-Tier Diagnostic Instrument for Genetics* (Tsui, 2002; Tsui e Treagust, 2010). Estas questões contemplam os assuntos discutidos na SD.

As quatro primeiras questões envolveram cruzamentos monoíbridos e graus variáveis de raciocínio genético para a sua resolução. Nas duas primeiras, os alunos tiveram que, a partir de um genótipo apresentado, descobrir o fenótipo dos organismos envolvidos. Já a terceira e quarta

questão, ao contrário, os alunos buscaram mapear o fenótipo apresentado para descobrir o genótipo (Tsui e Treagust, 2010).

Na primeira questão, os alunos deveriam apontar se uma pessoa com o genótipo Ll poderia apresentar o cabelo cacheado, dado que a letra L representa o alelo dominante que determina a presença desta característica. Em torno de 59% dos alunos responderam corretamente (A3, A8, A10, A13, A14, A20, A21, A23, A24, A25, A26, A27, A28), ou seja, afirmaram que um genótipo Ll pode apresentar a dada característica, justificando corretamente que o alelo dominante L é expresso em uma condição Ll.

A segunda questão tinha o seguinte enunciado: *Em camundongos, o gene b que determina a pelagem branca é recessivo em relação ao gene B que condiciona a pelagem marrom. Um camundongo com genótipo Bb cruzou com uma fêmea com o genótipo bb que, em seguida, deu à luz a uma ninhada de 12 camundongos. Quantos camundongos brancos são esperados?* Em torno de 45% dos alunos (A8, A10, A12, A14, A15, A29, A20, A21, A25, A28) responderam corretamente à questão, ou seja, declararam que são esperados 6 animais de pelagem branca na ninhada, pois a metade dos espermatozoides e todos os óvulos parentais carregam o gene b.

O número baixo de acertos na segunda questão sugere que a maioria dos alunos não aprendeu qual tipo de gametas determinados genótipos produzem, sendo este um conhecimento intimamente relacionado à divisão celular meiótica. Situação similar foi observada no estudo de Fabrício et al. (2006) cujos resultados revelaram que a maioria dos alunos do Ensino Médio e Superior (Licenciandos em Biologia) não sabe que tipo de gametas determinados genótipos produzem.

No estudo de Fabrício e colaboradores (2006), quando questionados sobre quais gametas são formados pelo genótipo Aa, aproximadamente 30,9% dos alunos do Ensino Médio e 11,9% dos alunos do Ensino Superior tiveram êxito na questão. Os autores afirmam que 70% é um percentual elevado de erros para ambos, mas, tratando-se do ensino superior, os resultados são inadmissíveis.

Na terceira questão, dado que o alelo H determina a doença de Huntington, os alunos deveriam apontar qual seria o possível genótipo de uma pessoa que apresenta esta doença. Aproximadamente 36% dos alunos (A1, A3, A10, A14, A15, A21, A23, A27) acertaram, pois declararam que os genótipos HH ou Hh determinam a doença e justificaram corretamente que o alelo dominante H é sempre expresso para ocasionar a doença de Huntington.

Na quarta questão, os alunos tiveram que interpretar o heredograma a seguir (Figura 6). Tsui e Treagust (2010) ressaltam que a interpretação de heredogramas requer raciocínio genético entre gerações, associados a um conhecimento de probabilidade para determinar os possíveis genótipos a partir dos fenótipos apresentados.

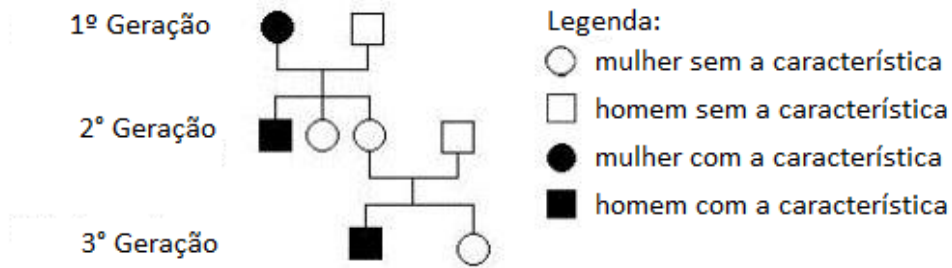


Figura 6.- Heredograma mostrando uma herança recessiva. Fonte: Tsui (2002).

Esta questão foi respondida corretamente por apenas 14% dos alunos (A10, A15, A21), os quais declararam que o heredograma representa uma característica recessiva, pois um homem da terceira geração tem a característica, mas seus pais não a têm.

É importante lembrar que uma característica recessiva pode estar presente em uma geração, desaparecer em gerações seguintes, e reaparecer em gerações subsequentes. No estudo de Fabrício et al. (2006), os autores questionaram "(...) como uma característica de minha tia-avó pode aparecer no meu neto?" Estes pesquisadores verificaram que somente 13% dos alunos do Ensino Médio e 28% de Ensino Superior (Licenciandos em Biologia), afirmaram que se trata de uma determinada característica recessiva. Os autores citaram, ainda, que aproximadamente 48% dos licenciandos erraram a questão e 24% sequer responderam.

A quinta questão, considerada a mais complexa do teste, envolveu cruzamento diíbrido e apresentou o seguinte enunciado: *Em um dos seus experimentos, Mendel cruzou plantas de ervilha altas com plantas de ervilha baixas. Na primeira geração (F1), nasceram somente plantas de ervilha altas. Nós sabemos agora que todas as plantas da geração F1 eram híbridas. Mendel então cruzou duas plantas da geração F1 e obteve 1064 plantas na segunda geração (F2). Qual das seguintes alternativas apresenta os fenótipos observados por Mendel na geração F2?* (Tsui, 2002).

Somente 14% dos alunos (A7, A15, A21) responderam corretamente esta questão, ou seja, afirmaram que o resultado esperado para F2 seria de 787 plantas altas e 277 plantas baixas. Como justificativa, estes alunos apontaram que isso pode ser trabalhado no Quadro de Punnett, usando B para o gene dominante (estatura da planta) e b para o gene recessivo e, então, descobrir as proporções esperadas de BB ou Bb e bb.

Nesta última questão, o desempenho dos alunos ficou muito abaixo do esperado. Foi uma questão que exigiu dos alunos um pouco mais de conhecimento teórico da segunda lei mendeliana e de raciocínio genético do que nas questões anteriores. Nesta questão, os alunos precisavam apenas usar a regra de que, para todos os caracteres analisados por Mendel, a geração F2, resultante do cruzamento de híbridos, sempre apresentava uma proporção fenotípica de 3:1, ou seja, 75% plantas altas e 25% plantas baixas.

Além disso, a questão 5 mostrou que os alunos não aprenderam a montar o quadro de Punnett. Segundo Borges, Silva e Reis (2017), já citado anteriormente, um dos principais problemas dos alunos em aprender a

primeira lei mendeliana reside na dificuldade de construir o Quadro de Punnett e realizar os cálculos matemáticos nele requeridos.

No presente estudo, assim como no estudo Borges, Silva e Reis (2017), foi observada uma certa resistência na construção do diagrama, pois é algo novo que os alunos nunca viram. No presente estudo, por exemplo, os alunos mostraram preferência pelo método algébrico para resolver os exercícios. A falta de interesse pelo Quadro de Punnett pode ter contribuído para a dificuldade apresentada nesta questão do teste.

Em geral, a média de acertos nas questões foi abaixo do esperado. Destaca-se o desempenho do aluno A21, que acertou todas as questões, dos alunos A10 e A15, que acertaram quatro questões, e do aluno A14 que acertou três questões. A maioria dos alunos acertaram duas questões (A3, A8, A20, A23, A25, A27, A28) e 1 questão (A1, A7, A12, A13, A24, A26, A29).

Os conhecimentos prévios falhos sobre a estrutura e função do material genético, divisões celulares e noções básicas de citologia estudados em anos anteriores, foi um fator limitante para o aprendizado de novos conceitos de genética. Diante disso, o ensino de novos conceitos de genética a partir deste trabalho foi um desafio. Autores como Ausubel, Novak e Hanesian (1978) e Zull (2002) destacam que é difícil aprender algo que não esteja conectado de alguma forma com os conhecimentos anteriores, por isso o ensino de qualquer conteúdo precisa acontecer a partir de conhecimentos prévios.

Há uma frase famosa de Ausubel "(...) de todos os fatores que influenciam a aprendizagem, o mais importante é aquilo que o aprendiz já sabe. Deve-se descobrir isso e ensinar de acordo" (Ausubel, Novak e Hanesian, 1978, p. iv). Para Zull (2002), há um equivalente neurobiológico para esta afirmação: "O fator mais importante na aprendizagem são as redes neurais pré-existentes no cérebro do aprendiz. Verifique quais são e ensine em conformidade" (Zull, 2002, p.93). Diante disso, usando as concepções neurocientíficas de Zull (2002) como referência, pode-se afirmar que, provavelmente, o cérebro dos alunos não estava bem preparado para novas aprendizagens em genética. Em outras palavras, no cérebro dos alunos, as redes neurais não continham informações suficientes para ancorar novos conhecimentos, como as leis mendelianas.

Neste estudo, as leis mendelianas foram apresentadas sem uma sólida e prévia revisão de conteúdos, como as divisões celulares e a estrutura e função do material genético, estudados em anos anteriores. Uma breve revisão de conteúdos aconteceu somente no decorrer da aplicação da SD. Isto denota a fragmentação do conteúdo que pode ter contribuído para a aprendizagem limitada dos alunos. A literatura aponta que a fragmentação do conteúdo caracterizada pela desconexão de temas biológicos como biologia celular, divisões celulares, controle celular e morfologia celular dificulta o aprendizado da genética mendeliana (Kiliç, Taber e Winterbottom, 2016).

A administração fragmentada, descontextualizada e desatualizada do conteúdo são fatores criticados por vários estudos na área de Ensino de Biologia. Estes estudos afirmam que muitos professores não estão

totalmente preparados para administrar o conteúdo de genética, que envolve questões éticas, morais, econômicas, políticas, entre outras. A fragmentação do conteúdo é facilmente observada no livro didático, na organização curricular e no discurso dos professores (Goldbach, Dysarz-Pereira, Sardinha, Papoula e Da Cardona, 2009).

No entanto, em conformidade com os pressupostos de Goldbach et al. (2009), os recursos e estratégias didáticas empregados nesta SD buscaram minimizar os problemas e dificuldades anteriormente citadas no ensino de genética. Vale lembrar que, em todos os encontros, o professor contextualizou o conteúdo e esclareceu todas as dúvidas dos alunos, fazendo sempre o uso de recursos didáticos audiovisuais concretos (vídeos, imagens, maquetes, entre outros) e buscou integrar os conceitos de DNA, genes e cromossomos, herança genética e divisão celular.

O tempo limitado dos encontros prejudicou o desenvolvimento efetivo da maioria das atividades previstas, visto que as aulas de Biologia se concentravam em 50 minutos, duas vezes por semana. Este fator limitante também foi observado por Sousa e Teixeira (2014) durante a implantação de sequência didática de conteúdos de Genética fundamentada no enfoque Ciência Tecnologia e Sociedade (CTS).

Outro fator limitante foi a indisciplina presente em um grupo de alunos. Neste artigo, adotou-se o conceito de indisciplina de Silva e Matos (2014), conceito que engloba um conjunto de comportamentos disruptivos menos graves, que violam regras estritamente escolares, porém não chegam a atingir um nível de violência física ou psicológica aos sujeitos envolvidos.

Na maioria dos encontros em que os alunos "indisciplinados" estavam presentes, posicionados ao fundo da sala de aula, comportamentos considerados disruptivos ocorriam com maior frequência. Estes alunos, alguns repetentes, demonstravam desinteresse pelo conteúdo, conversavam bastante entre si, às vezes gritavam, emitiam respostas desconexas às discussões do conteúdo, realizavam comentários irônicos, imitavam ordens do professor, desobedeciam a ordens expressas pelo professor para ficarem calados, buscando sempre chamar atenção e prejudicar o desenvolvimento do conteúdo. Além disso, algumas alunas posicionadas nas primeiras carteiras apresentavam comportamento infantilizado, reclamavam e questionavam a competência dos professores de outras disciplinas.

As dificuldades referentes à indisciplina de alguns alunos mencionada nos parágrafos anteriores devem ser a realidade de muitas salas de aula no Brasil. A SD desenvolvida, relatada nesta pesquisa, conseguiu atingir inclusive estes alunos, pois muitos destes passaram a manifestar interesse pelo conteúdo de genética. Estes alunos, além de realizar as atividades propostas com afinco, reduziram o número de ausências e melhoraram seu conceito na disciplina de Biologia.

Conclusões

De forma geral, buscou-se com este artigo descrever as etapas e os resultados da aplicação de uma SD fundamentada nos pressupostos da neurociência para o ensino de genética. Desde os primórdios desta

intervenção, verificou-se que os alunos possuíam poucos conhecimentos prévios sobre a estrutura e função do material genético, divisões celulares e noções básicas de citologia, além de apresentar concepções equivocadas sobre a relação fenótipo, genótipo, organismo e ambiente.

Os conhecimentos prévios insuficientes, o pouco interesse na aprendizagem de conteúdos biológicos, a alta frequência de comportamentos disruptivos e o tempo curto dos encontros prejudicaram o ensino e aprendizado do conteúdo trabalhado nesta SD, em especial, os conceitos e os cálculos matemáticos fundamentais para a compreensão da transmissão de caracteres hereditários regidos pelas Leis de Mendel. Contudo, o desenvolvimento deste trabalho foi um desafio interessante, pois se tratou de ensinar novos conteúdos abstratos e complexos de genética a alunos cujos cérebros apresentavam poucos conhecimentos biológicos básicos cristalizados em suas redes neurais.

Por fim, pode-se dizer que as atividades e os recursos didáticos utilizados na presente SD facilitaram o ensino do conteúdo de genética, tornando os encontros mais atrativos e interessantes. Sugere-se que sejam realizadas novas aplicações deste material, com possíveis adaptações à população escolhida, bem como a inclusão de maior número de aulas de revisão de conteúdo relacionado ao que foi apresentado em anos anteriores. Conclui-se que, mesmo com as limitações descritas ao longo do texto, a SD apresentada pode se inserir entre as atividades diferenciadas que podem auxiliar o professor e os alunos no processo de ensino-aprendizagem de genética.

Agradecimentos

À CAPES pelo apoio financeiro.

Referências bibliográficas

Almeida, C. M. M. de, e Lopes, P. T. C. (2019). Sequência didática eletrônica com testes adaptativos para o ensino de Ecologia do Ensino Fundamental numa plataforma de ensino. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 18(1), 1-18. Recuperado de <http://reec.educacioneditora.org/>.

Ausubel, D. P., Novak, J. D., e Hanesian, H. (1978). *Educational psychology: a cognitive view*. 2nd ed. New York: Holt, Rinehart, and Winston.

Blakemore, S. (2012). Development of the social brain in adolescence. *Journal of the Royal Society of Medicine*, 105(3), 111-116.

Borges, C. K. G. D., Silva, C. C. da, e Reis, A. R. H. (2017). As dificuldades e os desafios sobre a aprendizagem das leis de Mendel enfrentados por alunos do ensino médio. *Experiências em Ensino de Ciências*, 12(6), 61-75.

Brão, A. F. S., e Pereira, A. M. T. B. (2015). Biotecnética: Possibilidades do jogo no ensino de genética. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 14(1), 55-76.

Brockelmann, R. H. (2014). *Conexões com a Biologia. Componente Curricular Biologia*. v. 3. São Paulo: Editora Moderna.

Coch, D. (2018). Reflections on neuroscience in teacher education. *Peabody Journal of Education*, 93(3), 309-319.

Cosenza, R. M., e Guerra, L. B. (2011). *Neurociência e educação: como o cérebro aprende*. Porto Alegre: Artmed.

Fabrcio, M. F. L., Jófili, Z. M. S., Semen, L. S. M., e Leão, A. M. A. C. (2006). A compreensão das leis de Mendel por alunos de biologia na educação básica e na licenciatura. *Ensaio – Pesquisa em Educação em Ciências*, 8(1), 83-103.

Goldbach, T., Dysarz Pereira, F., Sardinha, R., Papoula, N., e Da Cardona, T. (2009). Para repensar o ensino de genética: levantamento e análise da produção acadêmica da área do ensino de ciências e biologia no Brasil. *Enseñanza de las Ciencias*, Núm. extra, 1830-1834.

Guerra, L. B. (2011). Diálogo entre a neurociência e a educação: da euforia aos desafios e possibilidades. *Revista Interlocução*, 4(4), 3-12.

Guy, R., e Byrne, B. (2013). Neuroscience and learning: implications for teaching practice. *Journal of Experimental Neuroscience*, 7, 39-42.

Justina, L. A. D., Meglhioratti, F. A., e Caldeira, A. M. A. (2012). A (re)construção de conceitos biológicos na formação inicial de professores e proposição de um modelo explicativo para a relação genótipo e fenótipo. *Revista Ensaio*, 14(3), 65-84.

Kiliç, D., Taber, K. S., e Winterbottom, M. (2016). A cross-national study of students' understanding of genetics concepts: implications from similarities and differences in England and Turkey. *Education Research International*, 2016, 1-14.

Machado, E. S., Machado, E. M., Nascimento, E. G. do, e Oliveira, R. J. (2010). Sequência didática para abordagem do DNA no oitavo ano do ensino fundamental. *Genética na Escola*, 5(2), 14-16.

Meglhioratti, F. A., El-Hani, C. N., e Caldeira, A. M. A. (2012). O conceito de organismo em uma abordagem hierárquica e sistêmica da biologia. *Revista da Biologia*, 9(2), 7-11.

Melo, J. R. de, e Carmo, E. M. (2009). Investigações sobre o ensino de Genética e Biologia Molecular no Ensino Médio brasileiro: reflexões sobre as publicações científicas. *Ciência e Educação (Bauru)*, 15(3), 593-611.

Moura, J., de Deus, M. S. M., Gonçalves, N. M. N., e Peron, A. P. (2013). Biologia/Genética: O ensino de biologia, com enfoque a genética, das escolas públicas no Brasil – breve relato e reflexão. *Semina: Ciências Biológicas e da Saúde*, 34(2), 167-174.

Okebukola, P. A., e Jegede, O. J. (1989). Students' anxiety towards and perception of difficulty of some biological concepts under the concept-mapping heuristic. *Research in Science & Technological Education*, 7(1), 85-92.

Oliveira, M. L. de, Antunes, A. M., Telles, M. P. C., e Sabóia-Morais, S. M. T. (2012). Genética na TV: o vídeo educativo como recurso facilitador do processo de ensino-aprendizagem. *Experiências no Ensino de Ciências*, 7(1), 27-42.

Paiva, A. L. B., e Martins, C. M. C. (2005). Concepções prévias de alunos de terceiro ano do Ensino Médio a respeito de temas na área de Genética. *Ensaio - Pesquisa em Educação em Ciências*, 7(3), 182-201.

Pedrancini, V. D., Corazza, M. J, e Galuch, M. T. B. (2011). Mediação pedagógica e a formação de conceitos científicos sobre hereditariedade. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 10(1), 109-132. Recuperado de <http://reec.educacioneditora.org/>.

Ramos, A. S. F. (2014). Dados recentes da Neurociência fundamentam o método "Brain-based learning". *Revista Psicopedagogia (online)*, 31(96), 263-274.

Santos, F. S. dos. (2018). *Programa Neurocientífico para a Aprendizagem Significativa de Genética* (Tese de Doutorado), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa.

Santos, F. S. dos, Francisco, A. C. de, Klein, A. I., e Ferraz, D. F. (2016). Interlocução entre neurociência e aprendizagem significativa: uma proposta teórica para o ensino de genética. *Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia*, 9(2), 149-182.

Santos, F. S. dos, Ferraz, D. F., Klein, Â. I., e Francisco, A. C. de. (2019). Jogo das três pistas: uma proposta lúdica para a avaliação dos subsunçores de genética. *Revista Espacios*, 40(5), 13.

Santos, E. R. D., Santoro, C. E., e Galembeck, E. Segunda Lei de Mendel, Projeto Embrião, 31 jan. 2014. Recuperado de <http://www.embriao.ib.unicamp.br/embriao2/visualizarMaterial.php?idMaterial=1406>.

Schneider, E. M., Justina, L. A. D., e Meglhioratti, F. A. (2011). A percepção de alunos do ensino médio em relação a interação gene-organismo-ambiente. *VIII ENPEC - Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, I CIEC - Congreso Iberoamericano de Investigacion en Enseñanza de las Ciencias*, Campinas/SP.

Silva, L. C. da, e Matos, D. A. S. (2014). As percepções dos estudantes mineiros sobre a incidência de comportamentos de indisciplina em sala de aula: um estudo baseado nos dados do SIMAVE/PROEB 2007. *Revista Brasileira de Educação*, 19(58), 713-729.

Sousa, G. P., e Teixeira, P. M. M. (2014). Educação CTS e Genética. Elementos para a sala de aula: potencialidades e desafios. *Experiências em Ensino de Ciências*, 9(2), 83-103.

Tsui, C.-Y. (2002). *Unpublished Genetics Tests for Years 11-12 Students in Western Australia*. Perth, Western Australia: Curtin University of Technology.

Tsui, C.-Y., e Treagust, D. (2010). Evaluating secondary students' scientific reasoning in genetics using a two-tier diagnostic instrument. *International Journal of Science Education*, 32(8), 1073-1098.

Zull, J. E. (2002). *The art of changing the brain: Enriching the practice of teaching by exploring the biology of learning*. Sterling, VA: Stylus Publishing.