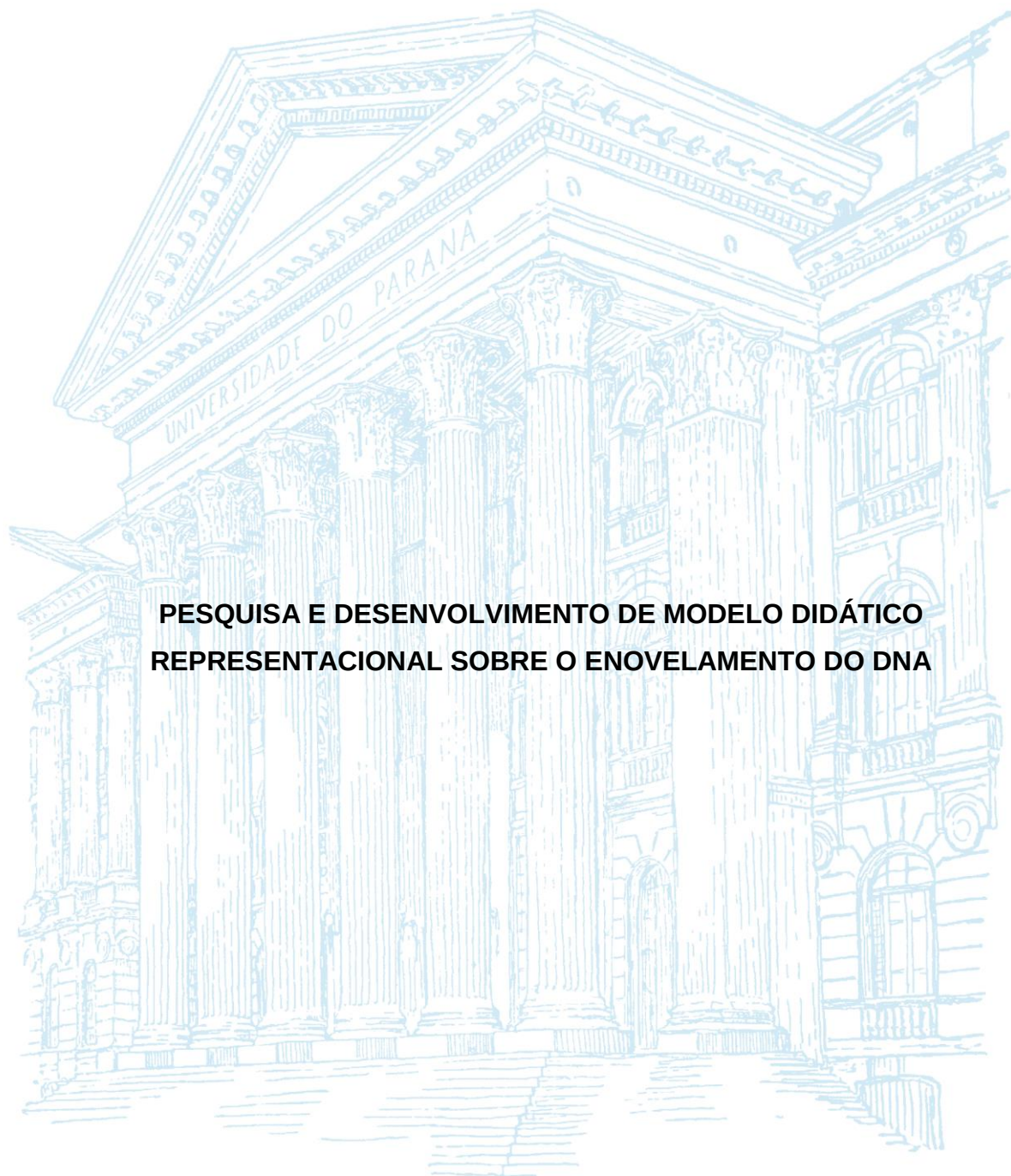


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

MARIA EDUARDA DUGONSKI



**PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DE MODELO DIDÁTICO
REPRESENTACIONAL SOBRE O ENVELAMENTO DO DNA**

CURITIBA

2018

MARIA EDUARDA DUGONSKI

**PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DE MODELO DIDÁTICO
REPRESENTACIONAL SOBRE O ENOVELAMENTO DO DNA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de licenciado em Ciências Biológicas, Departamento de Teoria e Prática de Ensino, Curso de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Patrícia Barbosa Pereira.

CURITIBA

2018

Aos meus pais e aos meus avós, por me proporcionarem a oportunidade de ser quem eu sou e estar onde estou hoje e dos quais me orgulho muito por suas histórias de vida, dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à Deus por estar sempre junto à mim, me indicar a certeza de um propósito e me ajudar em todas as horas.

Aos meus pais, Marília da Luz Dugonski e Altevir Dugonski, por me amarem tanto, me ensinarem tudo desde que nasci, por todo o apoio, motivação, paciência e confiança em mim.

Ao meu irmão, João Gabriel Dugonski, pela cumplicidade e companheirismo que sempre tivemos e que sei que sempre teremos, por estar sempre me acalmando, descontraindo e cuidando de mim.

À minha avó, Nerci Terezinha da Luz, por sempre me incentivar desde pequena, confiar em minha capacidade, me tranquilizar e me confortar em todas as situações.

Aos meus avós, Innocêncio e Adelaide Dugonski (*in memoriam*), por todo o carinho e amor.

Ao meu namorado, Eduardo Barreira de Oliveira, por me apoiar em todos os momentos e estar sempre presente.

À Isabelle Harumi Koga, amiga desde a infância, pela amizade e por todo o companheirismo.

À Professora Doutora Patrícia Barbosa Pereira, pela orientação, por fazer parte do crescimento que tive neste ano e por me acompanhar durante todo esse processo sempre me auxiliando e instruindo no campo da Pesquisa Educacional e sua importância para a sociedade.

Gostaria de agradecer à Universidade Federal do Paraná (UFPR) e à sociedade em geral por investirem em minha educação e por me proporcionarem amadurecer pessoal e profissionalmente. Agradeço profundamente à Universidade Federal do Paraná pela excelente formação que me foi dada.

“Nothing in life is to be feared, it is only to be understood”.

Marie Skłodowska-Curie.

RESUMO

O uso de recursos didáticos pode auxiliar no processo de ensino-aprendizagem, sendo destacado o uso de modelos didáticos. A modelização atua como facilitadora na assimilação dos conhecimentos por parte dos alunos e contribui para uma abordagem diferencial pelos professores. Em levantamento bibliográfico realizado acerca de trabalhos relativos ao ensino de genética, modelos didáticos e ensino-aprendizagem apresentados nos principais eventos científicos da área de Ensino de Biologia e Ciências, foi possível perceber problemáticas relacionadas ao alto grau de abstração dos conteúdos conceituais genéticos, dificuldade de visualização e compreensão das estruturas e fragmentação dos conteúdos. A partir disto, buscou-se propor um modelo didático representacional que amplie a compreensão dos conteúdos conceituais do enovelamento do DNA, com base em problemáticas relacionadas aos processos ensino-aprendizagem em Genética. E, para tanto, foram buscados os seguintes objetivos específicos: realizar um levantamento teórico acerca do uso de modelos didáticos no Ensino de Biologia e genética; propor modelo com orientações detalhadas para seu desenvolvimento; e propor planejamento pedagógico para a implementação do modelo didático desenvolvido. O modelo proposto valoriza a utilização de materiais acessíveis aos professores, de baixo custo e duráveis para sua confecção e permite o desenvolvimento de um modelo que possa ser manuseado pelos alunos auxiliando sua visualização por todos os ângulos de maneira a contribuir na diminuição do grau de abstração envolvido. O planejamento pedagógico proposto para a implementação do modelo em sala de aula envolve uma abordagem problematizadora no uso do modelo estimulando uma participação ativa dos alunos, além de ressaltar o uso da criticidade dos estudantes na atuação da genética nas esferas social, política, econômica e ambiental. Percebeu-se um campo amplo para maiores estudos acerca do desenvolvimento de modelos didáticos nas áreas de Biologia e Ciências.

Palavras-chave: Modelos didáticos. Enovelamento do DNA. Genética.

ABSTRACT

Didactic resources can help teaching-learning processes, especially didactic models. Modeling process acts as a facilitator in students' knowledge assimilation and contributes to a differential approach by teachers. In a bibliographic search carried out on works related to genetics' teaching, didactic models and teaching-learning process presented in the main scientific events of the Biology and Sciences teaching área was possible to perceive problems related to the genetic conceptual contents' high degree of abstraction, difficulty in visualization and understanding of structures and fragmentation of contents. From this, a didactic representational model that broadens the comprehension of the conceptual contentes of DNA folding based on problems related to the teaching-learning processes in Genetics was proposed. Therefore, these were the specific objectives: perform a bibliographic search about the use of didactic models in the teaching of biology and genetics; propose a model with detailed guidelines for its development; and propose pedagogical planning for the implementation of the didactic model developed. The proposed model values the use of accessible materials to teachers, inexpensive and durable for their production and allows the development of a model that can be manipulated by the students assisting their visualization from all angles in a way that contributes to the decrease of the abstraction's degree involved. The pedagogical planning proposed for the model's implementation in the classroom involves a problematizing approach in model's use, stimulating students' active participation. Besides that, it emphasizes the use of students' criticality in genetics' role in the social, political, economic and environmental spheres. There was a broad field for further studies about the development of didactic models in the áreas of Biology and Sciences.

Keywords: Didactic models. DNA folding. Genetics.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – ARAMES UTILIZADOS PARA CONFECÇÃO DO MODELO DIDÁTICO.....	20
FIGURA 2 – ESFERAS UTILIZADAS PARA CONFECÇÃO DO MODELO DIDÁTICO.....	21
FIGURA 3 – ESPIRAIS UTILIZADAS PARA CONFECÇÃO DO MODELO DIDÁTICO.....	22
FIGURA 4 – NUCLEOSSOMOS E FORMAÇÃO DE SOLENOIDE.....	24
FIGURA 5 – FORMAÇÃO DO CROMOSSOMO.....	25
FIGURA 6 – REPRESENTAÇÃO OCTÂMERO DE HISTONAS.....	27
FIGURA 7 – REPRESENTAÇÃO HISTONAS H1.....	28
FIGURA 8 – REPRESENTAÇÃO DO SOLENOIDE. FIXAÇÃO DAS HISTONAS H1.....	28
FIGURA 9 – EXEMPLO DE REPRESENTAÇÃO DO ARCABOUÇO PROTEICO....	29
FIGURA 10 – MODELO DIDÁTICO: NUCLEOSSOMA A SOLENOIDE.....	30
FIGURA 11 – MODELO DIDÁTICO REPRESENTACIONAL DO ENovelAMENTO DO DNA.....	30
FIGURA 12 – REPRESENTAÇÃO DO CROMOSSOMO METAFÁSICO. FIXAÇÃO DAS FIBRAS DO SOLENOIDE EM FORMA DE ALÇAS NO ARCABOUÇO PROTEICO.....	32

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – INTERSECÇÃO GENÉTICA X ENSINO-APRENDIZAGEM.....	13
QUADRO 2 – INTERSECÇÃO GENÉTICA X MODELO.....	15
QUADRO 3 – INTERSECÇÃO MODELO X ENSINO-APRENDIZAGEM.....	17

SUMÁRIO

1. APRESENTAÇÃO	1
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	5
2.1 MODELOS DIDÁTICOS NOS PROCESSOS DE ENSINO-APRENDIZAGEM	5
2.2 UTILIZAÇÃO DE MODELOS DIDÁTICOS NO ENSINO DE BIOLOGIA	8
2.3 MODELOS DIDÁTICOS NO PROCESSO ENSINO-APRENDIZAGEM EM GENÉTICA	10
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	19
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
4.1 ENOVELAMENTO E COMPACTAÇÃO DE DNA.....	23
4.2 PROPOSIÇÃO DO MODELO E ORIENTAÇÕES PARA SUA MONTAGEM.	26
4.3 SUGESTÃO DE PLANEJAMENTO PEDAGÓGICO PARA A IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO.	33
4.3.1 PLANEJAMENTO PEDAGÓGICO	34
4.3.2 PERSPECTIVAS DA PROPOSIÇÃO DO MODELO DIDÁTICO REPRESENTACIONAL DO ENOVELAMENTO DO DNA.....	36
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	39
REFERÊNCIAS.....	42
ANEXO I - GENE MISTERIOSO ESTÁ AUSENTE NA MAIORIA DOS MAMÍFEROS MARINHOS.....	51
ANEXO II -O GENETICISTA ITALIANO QUE DESMONTOU O CONCEITO DE RAÇA.....	55
ANEXO III - POR QUE AINDA NÃO SE USA A MODIFICAÇÃO GENÉTICA PARA ELIMINAR DOENÇAS?	59
ANEXO IV - TESTES DE DNA SÃO CAPAZES DE REUNIR FAMÍLIAS DE IMIGRANTES? ENTENDA OS FATOS.	61

1. APRESENTAÇÃO

No cenário de educação escolar e desenvolvimento do trabalho pedagógico no cotidiano em sala de aula há o estudo e busca constante do aprimoramento e inovação de abordagens que possam auxiliar o trabalho docente, na facilitação do ensino de conceitos e conteúdos, além da aprendizagem dos estudantes. Os recursos didáticos estão inseridos neste contexto e segundo Pais (2000), atuam como “suporte experimental na organização do processo de ensino e de aprendizagem” (PAIS, p. 2, 2000). Ele também indica sua atuação como interface mediadora para o auxílio da relação entre estudante, professor e o conhecimento na elaboração do saber.

Souza (2007) ressalta a importância da utilização de recursos didáticos no processo ensino-aprendizagem para auxiliar o aluno na assimilação do conteúdo trabalhado, podendo, inclusive, desenvolver “sua criatividade, coordenação motora e habilidade ao manusear objetos diversos que poderão ser usados pelo professor na aplicação de suas aulas” (SOUZA, p. 112-113, 2007). Já Oliveira (2006) destaca o desenvolvimento de interesse, participação, aprendizagem e integração entre os estudantes gerado a partir do contato destes com os materiais didáticos.

Os recursos didáticos podem propiciar também a inserção do aluno na sua própria aprendizagem, deixando de atuar apenas como um espectador. Castoldi e Polinarski (2009) ressaltam que, com a utilização destes recursos com o intuito de complementação do ensino tradicional, há a possibilidade dos estudantes serem participantes do processo de aprendizagem, além de possibilitar expor o conteúdo de maneira diferenciada.

Dentre os diversos recursos didáticos utilizados em sala de aula, têm-se os modelos didáticos. Gilbert e Boulter (1998) destacam a valorização da modelização como facilitadora do processo de visualização. O uso de modelos é muito disseminado e sua importância reconhecida em diferentes áreas do conhecimento. Sendo que essa abordagem pedagógica teria surgido na pesquisa em Ensino de Física e só depois ampliada para o Ensino de Ciências em geral, segundo Greca e Santos (2005). Duso et al. (2013, p. 31) afirmam que a “modelização vem sendo apontada como uma alternativa educacional promissora para a área do Ensino de Ciências”.

Na Biologia também há a utilização de modelos didáticos, sendo importante seu uso englobando diferentes assuntos dentro da área (BARROS; OLIVEIRA, 2016). Entre os diferentes conteúdos das Ciências Biológicas, é ressaltado o campo da genética. Segundo Barros e Oliveira (2016, p.6258):

Os conceitos de genética são, muitas vezes, temas imprescindíveis para várias bases conceituais, como a compreensão dos processos evolutivos dos seres vivos, e para a compreensão e interligação de vários outros conceitos dentro da Biologia.

E ao se tratar de genética, Martinez, Fujihara e Martins (2008, p. 24) indicam que:

Os conceitos abordados no ensino de Genética são, geralmente, de difícil assimilação, sendo necessárias práticas que auxiliem no aprendizado dos alunos. Dessa forma, métodos inovadores de ensino que envolvam arte, modelos e jogos mostram-se promissores para serem aplicados no ensino de Genética. Tais atividades, quando aplicadas de forma lúdica, complementam o conteúdo teórico permitindo uma maior interação entre conhecimento-professor-aluno, trazendo contribuições ao processo ensino-aprendizagem.

A partir disso, o presente trabalho busca atuar no campo da modelização dentro da área de genética, mais especificamente com o desenvolvimento de modelo didático representacional sobre a compactação/enovelamento do DNA (ácido desoxirribonucléico) em eucariotos para o Ensino Médio.

Uma vez que no cotidiano escolar são notadas certas dificuldades encontradas nos alunos para a compreensão de alguns temas de genética, frequentemente os professores necessitam de diferentes recursos didáticos para tentar alcançar os alunos e facilitar o seu entendimento dos conteúdos conceituais da área. Muitos destes assuntos específicos estão relacionados à dificuldade de imaginar de maneira tridimensional as moléculas apresentadas. Neste sentido, a construção do modelo representacional proposto poderia atuar suprimindo demandas e problemáticas no ensino-aprendizagem de Genética e auxiliando a compreensão dos alunos, sendo a modelização, neste caso, uma forma de ampliação da participação destes alunos e estímulo para uma reflexão sobre o tema.

Durante os anos de estudos envolvidos na graduação, sempre tive muito apreço e interesse pelos conhecimentos relacionados à área da Genética, seu

histórico, desenvolvimento clássico, aplicações em estudos populacionais, atuação em Biologia Molecular e o impacto que tem no processo evolutivo, na sociedade e na saúde humana. Com o decorrer do curso pude perceber a importância de conceitos genéticos chave para a construção de conhecimentos mais complexos e compreensão mais aprofundada de processos dinâmicos. Paralelamente, pude observar como alguns temas que estava estudando com mais detalhes no início da minha graduação eram abordados no Ensino Médio, ao acompanhar os estudos do meu irmão. Com isso, percebi que talvez uma aproximação maior do Ensino Superior e maior atenção em relação às abordagens diferenciais no Ensino Médio pudessem despertar um interesse maior dos alunos sobre a genética e sua importância.

Compreendi, através das minhas tentativas de explicar o mesmo assunto (enovelamento do DNA), mas de maneira mais visual e dinâmica ao meu irmão, que talvez pudesse trabalhar em algum material didático para auxiliar justamente neste ponto. Completei o núcleo básico do curso de Ciências Biológicas, obtive graduação em Bacharelado com o desenvolvimento de monografia no Departamento de Genética e, neste momento de estudo na Licenciatura, resgatei estas memórias do início da graduação e o anseio de poder desenvolver um material didático que pudesse auxiliar o professor e os alunos na abordagem do assunto referente ao enovelamento/compactação do DNA em eucariotos.

Nesse sentido, a questão norteadora deste trabalho foi “Como ampliar a compreensão dos conteúdos conceituais do enovelamento de DNA a partir de problemas recorrentes aos processos de ensino-aprendizagem em Genética?”

Na tentativa de obter caminhos elucidativos para tal questão, este trabalho tem como principal objetivo:

- Propor um modelo didático representacional que amplie a compreensão dos conteúdos conceituais do enovelamento do DNA com base em problemáticas relacionadas aos processos ensino-aprendizagem em Genética.

Em complementariedade, são objetivos específicos desta pesquisa:

- Realizar um levantamento teórico acerca do uso de modelos didáticos no Ensino de Biologia e Genética.
- Propor modelo com orientações detalhadas para seu desenvolvimento.

- Propor planejamento pedagógico para a implementação do modelo didático desenvolvido.

Com relação à estruturação, neste trabalho inicialmente é apresentada uma revisão bibliográfica sobre o uso de modelos didáticos nos processos de ensino-aprendizagem e sua utilização específica no Ensino de Biologia, atuando como aporte teórico para embasar o desenvolvimento do trabalho proposto. Para tal, é indicado o processo de busca e análise de artigos para revisão de modelos didáticos já propostos com foco no auxílio do processo ensino-aprendizagem em genética e o levantamento bibliográfico destes modelos didáticos já propostos no ensino de genética, encontrados em artigos submetidos aos principais Congressos de Educação na área de Ciências e Biologia no Brasil (Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências - ENPEC e Encontro Nacional de Ensino de Biologia - ENEBIO).

Na seção seguinte são apresentados os procedimentos abordados nos critérios de escolha e apresentação dos materiais e dos processos utilizados para a produção do modelo didático.

Na sequência, há uma breve descrição do conteúdo do enovelamento/compactação de DNA em eucariotos para atuar como referencial teórico complementar juntamente à produção do modelo didático. Então, é indicada a proposição do modelo didático representacional, sendo descritos os processos para sua confecção e os materiais utilizados. Além disso, há uma sugestão de proposta pedagógica para a sua aplicação, evidenciando o uso de materiais acessíveis aos professores.

Finalmente, são feitas considerações acerca de todo o desenvolvimento do trabalho, sobre a proposição do modelo didático representacional do enovelamento do DNA e sugestão para sua implementação.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 MODELOS DIDÁTICOS NOS PROCESSOS DE ENSINO-APRENDIZAGEM

O uso de modelos e do termo “modelo” no cotidiano escolar é muito disseminado, uma vez que atuam como ferramentas pedagógicas que auxiliam o professor em uma abordagem diferencial de conceitos e temas a serem tratados em sala de aula. Mas, no campo da pesquisa educacional, se faz necessário ressaltar as diferenças encontradas no emprego dos termos “modelo” e “modelização” entre os diversos autores.

Quinto e Ferracioli (2008), em estudo realizado a partir de revisão bibliográfica acerca de modelização na Educação em Ciências, indicaram a recomendação de pesquisadores sobre uma atuação cautelosa quanto à polissemia da definição de modelos, visando evitar possíveis desencontros teóricos. Neste sentido, se faz necessário ressaltar dentre os artigos analisados por eles a contribuição da pesquisa realizada por Krapas et al. (1997) em que é evidenciado o uso do termo “modelo” com sentidos e características diferentes na literatura e a necessidade de melhor definição do mesmo, e da revisão feita por Gutierrez (2005) na qual se conclui que há a polissemia deste termo nos artigos analisados.

Essa polissemia, ou seja, as diferenças entre como o termo é empregado por cada autor e a classificação de modelos que cada um adota, interfere no campo educacional. Segundo Machado (2009), as divergências podem não se resumir a confusões terminológicas, mas alcançar “o nível de significados por trás das palavras” (MACHADO, 2009, p. 36), podendo, inclusive, atingir a “compreensão de modelos do ponto de vista epistemológico” (MACHADO, 2009, p. 36).

Bunge (1974) evidencia os modelos como uma maneira de se estabelecer uma relação entre teorias e dados empíricos (mais próximos da realidade). Johnson-Laird em trabalho publicado em 1983 afirma que, segundo Duso et al. (2013, p.33), “modelos são representações mentais analógicas, em certa medida abstraídas de conceitos ou eventos que são espacial e temporalmente análogos às impressões sensoriais”. Gilbert e Boulter (1998) definem modelos como a representação de uma ideia, um objeto, um evento ou

um sistema. Enquanto que Giordan e Vecchi (1996) consideram modelo como “uma construção, uma estrutura que pode ser utilizada como uma referência, uma imagem analógica que permite materializar uma ideia ou um conceito, tornando-os diretamente assimiláveis” (1996, p. 196).

Em trabalho publicado em 1980, Kneller buscando uma categorização dos diferentes tipos de modelos propõe uma classificação em 3 conjuntos: modelo representacional (representação tridimensional), modelo teórico (constituído por um conjunto de pressupostos sobre um certo objeto ou sistema e atribui a estes um mecanismo interno) e modelo imaginário (constituído por um conjunto de pressupostos para a descrição de certo objeto ou sistema caso fossem cumpridas determinadas condições) (citado também por SANTOS, 2016; BARBOSA, SILVA e MENDES, 2017; DUSO et al., 2013).

Já Gilbert e Boulter (1998) propõem uma classificação em 3 categorias: modelo mental (representação pessoal e privada de algo), modelo expresso (uma variação de modelo mental que ocorre quando o indivíduo a expressa por fala, escrita ou através da ação), modelo consensual (um modelo expresso que foi testado e aprovado coletivamente) e modelo pedagógico (um modelo construído para auxílio da compreensão de um modelo consensual).

Enquanto que Krapas et al. (1997) elaboraram para o desenvolvimento de sua pesquisa e revisão bibliográfica 5 categorias para classificação de modelos: modelo mental (representação pessoal e que pode ser expressa por fala, escrita, através da ação e desenho), modelo consensual (modelo formalizado e comum a grupos sociais com o intuito de “compreender/explicar ideias, objetos, eventos, processos ou sistemas” (KRAPAS et al., 1997, p. 192)), modelo pedagógico (objetiva a promoção da educação), meta-modelo (modelo formalizado e comum a grupos sociais com o intuito de “compreender/explicar o processo de construção e funcionamento de modelos consensuais ou de modelos mentais”(KRAPAS et al., 1997, p. 193)) e modelagem como objetivo educacional (ênfase no desenvolvimento da aptidão na construção de modelos como propósito principal do ensino de ciências).

Analisando as classificações sugeridas por alguns autores, Machado (2009, p. 37) em seu trabalho propõe a existência de 3 setores nos quais os modelos podem ser divididos: “o setor das ciências da cognição (modelos mentais ou expressos), o setor epistemológico (modelos científicos, inseridos

nos modelos consensuais) e o setor das interações didáticas (modelos pedagógicos ou didáticos)".

No que se refere à construção e reformulação de modelos, Maia e Justi (2009) observaram que pesquisadores em educação indicam estes procedimentos como uma das práticas fundamentais para a pesquisa científica. Esse processo de modelização, assim como o termo "modelo", também apresenta diferenças de definição, sendo considerado por Pinheiro, Pietrocola e Alves Filho (2001, p. 39) como "um processo que consiste na elaboração de uma construção mental que pode ser manipulada e que procura compreender um real complexo". De maneira geral, este processo estaria ligado à "elaboração de modelos ou à apropriação de modelos já construídos" (MACHADO, 2009, p. 38), sendo delimitado por pesquisadores da área do Ensino de Ciências como o desenvolvimento de uma via que transpõe o aluno desde suas representações (modelos mentais) até modelos científicos (MACHADO, 2009).

No campo de aplicação e uso da modelização, esta é tida como uma alternativa educacional para auxílio do professor no processo ensino-aprendizagem. Segundo Duso et al. (2013, p.31), com a modelização "pretende-se ampliar a reflexão, o debate e a participação ativa dos estudantes no processo de sua aprendizagem".

Maia e Justi (2009) apontaram que pesquisadores em educação consideram que o uso do processo de construção e reformulação de modelos "em atividades de ensino apresenta o potencial de desenvolver o conhecimento dos estudantes em vários aspectos" (MAIA; JUSTI, 2009, p. 4), salientando o conhecimento acerca de conteúdos específicos, a compreensão do conhecimento científico como uma construção humana e desenvolvimento de um melhor raciocínio envolvendo as evidências científicas (WU; HSIEB, 2006 citado por MAIA; JUSTI, 2009). A aplicação da modelização é indicada e embasada por Maia e Justi (2009) considerando a importância que detém como estratégia investigativa, contribuindo para o desenvolvimento de habilidades de investigação.

Segundo Astolfi e Develay (2001), a modelização em sala de aula teria surgido da "necessidade de explicação que não satisfaz o simples estabelecimento de uma relação causal" (ASTOLFI; DEVELAY, 2001, p. 104 citado por PAZ et al., 2006). Segundo Paz et al. (2006) a modelização no Ensino

de Ciências Naturais teria surgido também desta necessidade e os modelos seriam indicados como recursos aproximativos que auxiliam no processo explicativo de maneira que promoveriam uma melhor compreensão por parte do estudante.

Gilbert e Boulter (1998) ressaltam a importância da modelização de forma a facilitar o processo de visualização. Já Justi (2006) enumera 3 finalidades principais que justificam o uso de modelos no Ensino de Ciências: favorecer ao aluno aprender ciência, aprender sobre ciências e aprender a fazer ciência.

Em suma, percebe-se a importância da modelização no processo ensino-aprendizagem auxiliando o professor e potencializando a compreensão por parte dos alunos, “sendo apontada como uma alternativa educacional promissora para o ensino de ciências” (DUSO et al., 2013, p. 31).

2.2 UTILIZAÇÃO DE MODELOS DIDÁTICOS NO ENSINO DE BIOLOGIA

Modelos didáticos são amplamente utilizados em sala de aula e sua atuação como recurso didático evidencia consequências positivas para o uso como auxílio pedagógico pelo profissional de educação, tais como tornar concretos conceitos abstratos, facilitar visualização por parte dos alunos e estimular a participação destes. Sua utilização em diversas áreas da educação é debatida, sendo seu uso em educação em Ciências ressaltado como relevante por Colinaux (1998, citado por JUSTINA; FERLA, 2006).

Segundo Paz et al. (2006), o professor busca a melhoria da qualidade do ensino em Ciências quando opta por utilizar modelos didáticos e modelização. Moraes, Santori e Dorvillé (2017) evidenciam a existência de diversas pesquisas na atualidade no Ensino de Ciências que têm como objetivo compreender os processos de ensino-aprendizagem a partir de modelos.

Essa abordagem pedagógica de utilização de modelização teria surgido na pesquisa em Ensino de Física, sendo então ampliada para o Ensino de Ciências em geral nos diferentes níveis educativos, segundo Greca e Santos (2005). Esses pesquisadores também ressaltam o uso de uma definição de modelização em ciências sem distinção das peculiaridades de cada ciência nos artigos analisados por eles.

Duso et al. (2013) também afirmam a existência de maior tradição de modelização nas aulas de Física, assim como nas aulas de Matemática, e nestas disciplinas o foco estaria na construção de modelos teóricos. Os pesquisadores apontam que também são encontrados estudos envolvendo a utilização de atividades de modelização em aulas de Química e Biologia, mas ressaltam que essas atividades acontecem em menor número e com foco na construção de modelos representacionais.

Krasilchick (2004) indica que os modelos didáticos são muito utilizados para facilitar a observação de objetos em três dimensões em aulas de Biologia. Mas que podem envolver algumas problemáticas, como os alunos compreenderem que os modelos didáticos são apenas simplificações do objeto real ou momentos de um processo dinâmico, sugerindo então a participação do aluno na construção dos próprios modelos como forma de diminuir estas problemáticas e envolver o aluno no processo de aprendizagem.

Para Orlando et al. (2009, A2):

...modelos biológicos como estruturas tridimensionais ou semi-planas (alto relevo) e coloridas são utilizadas como facilitadoras do aprendizado, complementando o conteúdo escrito e as figuras planas e, muitas vezes, descoloridas dos livros-texto. Além do lado visual, esses modelos permitem que o estudante manipule o material, visualizando-o de vários ângulos, melhorando, assim, sua compreensão sobre o conteúdo abordado. Também, a própria construção dos modelos faz com que os estudantes se preocupem com os detalhes intrínsecos dos modelos e a melhor forma de representá-los, revisando o conteúdo, além de desenvolver suas habilidades artísticas.

Já Barros e Oliveira (2016) ressaltam a importância do uso de modelos que envolvam diferentes pontos dentro da Biologia como uma ferramenta que facilite a conexão dos assuntos fragmentados pelos livros didáticos. Essas autoras indicam também a atuação de modelos didáticos auxiliando a visualização dos “processos que ocorrem a nível celular em um plano “macroscópico”, se tornando uma possível solução para a dificuldade de abstração e conexão de assuntos que os alunos apresentam.” (BARROS; OLIVEIRA, 2016, p. 6259).

Guilherme, Silva e Guimarães (2012) apontam em sua pesquisa que estudos envolvendo modelos no ensino de genética seriam abordagens

promissoras de facilitação do processo ensino-aprendizagem na área de Biologia. Brandão e Acedo (2000) também indicam o uso de modelos didáticos no ensino de genética para facilitação do entendimento da genética (citado por JUSTINA; FERLA, 2006). Além disso, em determinado contexto descrito por Guilherme, Silva e Guimarães (2012), há a recomendação aos pesquisadores construtivistas para a utilização de modelos para reforçar o ensino de genética molecular.

2.3 MODELOS DIDÁTICOS NO PROCESSO ENSINO-APRENDIZAGEM EM GENÉTICA

O levantamento bibliográfico aqui apresentado foi desenvolvido a partir de buscas de termos específicos relacionados ao tema principal deste trabalho, para isto foram selecionadas as palavras-chave: genética, modelo e ensino-aprendizagem. Por se tratar do desenvolvimento de material didático complementar referente ao conteúdo do enovelamento do DNA, a escolha por “genética” se deu para que se objetivasse a análise de artigos elaborados nesta mesma área da Biologia em que o presente trabalho tem como enfoque. O termo “modelo” (com a variante “modelos”) foi selecionado para que se fosse possível abranger estudos desenvolvidos acerca de modelos didáticos e a modelização, de maneira que possam auxiliar a produção do modelo didático representacional proposto. A escolha por “ensino-aprendizagem” (em pesquisa pela variante “ensino aprendizagem” só foram considerados artigos nos quais se tratava de falta do hífen no termo presente no título ou palavra-chave e não ensino aprendizagem como termos diferentes e em outros contextos) foi realizada para que pudesse indicar artigos em que este processo está evidenciado, podendo colaborar com o desenvolvimento do aspecto deste modelo didático no ensino e aprendizagem pelos alunos.

A pesquisa foi realizada em bancos de dados com os trabalhos apresentados nas edições IX, X, XI do Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPEC) e nas edições V e VI do Encontro Nacional de Ensino de Biologia (ENEBIO) juntamente realizados com o II Encontro Regional de Ensino de Biologia (EREBIO) da Regional 01 e o VIII EREBIO da Regional

03, respectivamente. Foi delimitado o intervalo de trabalhos publicados nos últimos 5 anos a fim de objetivar trabalhos atuais e mais próximos ao tema escolhido.

Foram utilizados, quando presentes, os mecanismos de busca dos bancos de dados a partir dos termos já indicados aqui e com base nos artigos indicados por eles foram analisados título, resumo e palavras-chave na etapa de intersecção dos mesmos apontando artigos com a presença de mais de uma das 3 palavras-chave.

Para a pesquisa por trabalhos nos anais dos ENPEC listados, foi utilizado mecanismo de busca disponível com um único campo para “título, autor, área, instituição e/ou palavra-chave” e pesquisados cada um dos 3 termos para obter o número de artigos indicados em cada categoria. Para a averiguação da presença de outro termo nos artigos indicados (genética e modelo; genética e ensino-aprendizagem; modelo e ensino-aprendizagem; e genética, modelo e ensino-aprendizagem) foi feita uma busca pelos outros termos no título, resumo e palavras-chave de maneira mútua (ex.: busca por “modelo” nos artigos indicados na categoria genética e busca por “genética” nos artigos indicados na categoria modelo). Esta maneira de cruzar as buscas entre as categorias se fez necessária devido a não especificidade da forma com que o mecanismo de busca disponível atua na pesquisa do termo digitado.

Em pesquisa por trabalhos nos anais dos ENEBIO e EREBIO listados, foram utilizados os campos “título”, “resumo” e “palavra-chave” do mecanismo de busca disponível, sendo agrupados os artigos indicados por estes 3 campos na mesma categoria (genética, modelo ou ensino-aprendizagem). Para a averiguação da presença de outro termo nestes artigos também foi realizada uma busca pelos outros termos no título, resumo e palavras-chave de maneira mútua entre as categorias. Esta forma de cruzar as buscas também se fez necessária devido a não especificidade da forma com que o mecanismo de busca disponível atua.

Foram encontrados 157 artigos na busca utilizando a palavra-chave “modelo”, 85 artigos utilizando “genética” e 155 artigos utilizando “ensino-aprendizagem”, caracterizando o número total de trabalhos a partir do qual as correlações entre os termos seriam investigadas. Na pesquisa do termo “genética” nos artigos encontrados a partir de busca do termo “ensino-

aprendizagem” e pesquisa do termo “ensino-aprendizagem” nos artigos encontrados a partir de busca do termo “genética” foram encontrados 9 artigos (QUADRO 1). Em um destes artigos Marín (2013), ao analisar a aprendizagem sobre herança genética, ressalta a relevância da genética nos processos de ensino-aprendizagem das ciências biológicas devido a sua abordagem de fenômenos sociais nos quais se faz necessária uma participação cidadã. Já Trazzi et al. (2013) analisam especificamente uma exposição com tema envolvendo a genética (“*Exposição Revolução Genômica*”) como um espaço de ensino-aprendizagem. Os trabalhos de Gomes e Rocha (2014) e Moul e Silva (2015) envolvem a utilização de jogo didático atuando como recurso didático no processo ensino-aprendizagem de maneira a facilitar a compreensão de conceitos genéticos.

Nos trabalhos desenvolvidos por Pedreira, Oliveira e Klautau-Guimarães (2015) e Norato et al. (2017) é ressaltada a importância da contextualização dos conteúdos no ensino de genética. Pedreira, Oliveira e Klautau-Guimarães (2015) implementaram a elaboração de tirinhas de história em quadrinhos por alunos de graduação como forma de se trabalhar o conceito de gene e sua contextualização, atuando positivamente no processo de ensino-aprendizagem. Enquanto que Norato et al. (2017) avaliaram uma abordagem histórica em atividade prática como possibilidade no ensino de genética e indicaram um aproximação dos alunos e do conteúdo trabalhado.

Brão (2016) e Gonçalves et al. (2016) evidenciam o uso do lúdico como uma alternativa didática para auxiliar o ensino de temas pertencentes à genética e o interesse que o lúdico desperta nos alunos. É importante mencionar que o trabalho de Gonçalves et al. (2016) não apresenta o termo “genética” no título, resumo nem nas palavras-chave, mas foi indicado pelo mecanismo de busca do ENEBIO através de pesquisa pelo termo genética e que foi utilizado no presente trabalho por tratar dos conceitos genéticos mitose e meiose. O trabalho de Serpa e Ramos (2016) também apresenta “ensino-aprendizagem” e foi indicado pelo mecanismo de busca do ENEBIO através de pesquisa pelo termo genética, mas aborda o assunto de sistemática filogenética nos conteúdos de zoologia e não conceitos genéticos.

QUADRO 1 – INTERSECÇÃO GENÉTICA X ENSINO-APRENDIZAGEM

Evento	Autor	Título
ENPEC 2013	MARÍN, Y. A. O.	Aprender sobre herança genética: mais de um quadro de Punnett
	TRAZZI et al.	Análise do Potencial Pedagógico da Exposição Revolução Genômica como espaço não formal de ensino de biologia
ENPEC 2015	PEDREIRA, M. M.; OLIVEIRA, S. F.; KLAUTAU-GUIMARÃES, M. N.	Elaboração de tirinhas de história em quadrinhos sobre o conceito de gene por estudantes de Ensino Superior
	MOUL, R. A. T. M.; SILVA, F. C. L.	O ensino de síntese proteica sob uma perspectiva inovadora
ENPEC 2017	NORATO et al.	Sinalizando possibilidades no ensino de Genética: Avaliação de uma proposta prática utilizando a abordagem histórica
ENEBIO 2014	GOMES, L. R.; ROCHA, D. P.	Proposta de jogo didático: “as descobertas de Mendel”
ENEBIO 2016	GONÇALVES et al.	Baralho da mitose e meiose: o lúdico e os processos de divisão celular
	BRÃO, A. F. S.	Colorindo a genética quantitativa
	SERPA, J. D. M.; RAMOS, F. Z.	Proposta de uma sequência didática para a compreensão das características evolutivas dos filos zoológicos

FONTE: A autora (2018).

A intersecção entre os resultados das buscas por “genética” e “modelo” e busca cruzada entre os termos contém 14 trabalhos, ao total (QUADRO 2). Neles há a descrição do desenvolvimento de modelos didáticos referentes a temas conceituais de genética atuando como recursos de ensino auxiliares da aprendizagem, assim sendo, vale ressaltar que mesmo o termo “ensino-aprendizagem” não aparecendo diretamente através da busca realizada, está presente no corpo do texto em grande parte dos trabalhos.

Nos artigos encontrados nesta intersecção, é indicado que o tema “genética” envolve assuntos que despertam interesse nas pessoas, mas que apresenta difícil compreensão (FERREIRA et al., 2016), abordando conceitos abstratos (BARROS; SILVA, 2016), principalmente em seu enfoque molecular de processos celulares (BARROS; OLIVEIRA, 2016) e envolve moléculas de

difícil visualização (PEREIRA et al., 2014). Desta maneira, é ressaltada a importância de modelos didáticos no auxílio para uma melhor compreensão de conceitos por parte dos alunos, sendo uma estratégia facilitadora da aprendizagem (BARROS; OLIVEIRA, 2016 e GOLDBACH et al., 2016) e de extremo valor como modelos táteis para acompanhamento das aulas por alunos deficientes visuais (LIAÑO; SANTOS; VARANDA, 2016). Em dois dos artigos encontrados é possível observar, também, a indicação da escassez de uma abordagem integrada de conceitos genéticos: mendelianos, cromossômicos e molecular (GOLDBACH et al., 2016) e processo de formação de gametas, genes e expressão gênica que muitas vezes são trabalhados de forma fragmentada (GOLDBACH et al., 2014). Além disso, há o enfoque também na construção de modelos didáticos com a utilização de materiais de baixo custo, como indicado por Sousa et al. (2016) e Pereira et al. (2014).

No trabalho desenvolvido por Hayata, Kunzler e Lessmann (2014) há também a indicação da genética abordar temas abstratos e que isto dificultaria o processo de ensino-aprendizagem, sendo ressaltada por eles a importância das aulas práticas como estratégia no auxílio do professor. Do mesmo modo, Souto, Santos e Borges (2016) indicam esta ideia do caráter abstrato e difícil compreensão da genética ao proporem um modelo didático do DNA focando em uma abordagem histórica.

Em outro trabalho presente nesta intersecção, Silva, Pereira e Bizzo (2014) analisaram publicações do ENPEC quanto à utilização de contexto histórico e História da Ciência em si no ensino de genética, sendo o termo “modelo” encontrado como uma das categorias de artigos analisados (proposições de modelos didáticos).

Em 3 artigos o termo “modelo” utilizado não se referia a modelos didáticos, sendo empregado como “modelo de perfil conceitual” (REIS; SEPULVEDA; EL-HANI, 2017), modelo de classificação (SCHNEIDER; CARVALHO; CORAZZA, 2017) e uso de filosofia como modelo para o ensino de conceitos genéticos (ALENCAR e FERREIRA, 2016).

QUADRO 2 – INTERSECÇÃO GENÉTICA X MODELO

Evento	Autor	Título
ENPEC 2017	REIS, V.P.G.S.; SEPULVEDA, C.A.S.; EL-HANI, C. N.	Um modelo de perfil conceitual de herança biológica
	SCHNEIDER, E.M.; CARVALHO, G.S.; CORAZZA, M.J.	Concepções de estudantes do ensino superior acerca da eugenia
ENEBIO 2014	GOLDBACH et al.	Nedicoíde: um modelo didático para abordagem integrada da temática genética no ensino médio
	HAYATA, M. A.; KUNZLER, A.; LESSMANN, C.	A contribuição do PIBID biologia para o ensino do conteúdo de genética nas escolas estaduais Getúlio Vargas e Padre Anchieta, em Florianópolis-SC
	SILVA, A. P. Z.; PEREIRA, H. M. R.; BIZZO, N. M. V.	História da ciência e ensino da genética: uma análise dos anais dos VII E VIII Encontros Nacionais do Ensino de Ciências
	PEREIRA et al.	Modelos didáticos de DNA, RNA, ribossomos e processos moleculares para o ensino de genética do ensino médio
ENEBIO 2016	SOUTO, U. R.; SANTOS, J. R.; BORGES, A. A.	Proposta de modelo da dupla hélice do dna em um contexto histórico
	ALENCAR, L. A.; FERREIRA, L. B. M.	Filosofia para crianças como modelo para ensinar conceitos básicos de biologia celular e genética para alunos dos 7º. ano/ 8ª. Série do ensino fundamental
	FERREIRA et al.	Despertando interesse por genética através do uso de materiais lúdicos em espaços não formais de educação
	SOUSA et al.	O ensino do fluxo de informação gênica mediado por modelos didáticos: do DNA à proteína
	BARROS, G. D.; SILVA, D. M. S.	O uso de um recurso didático como subsídio para o ensino de genética
	BARROS, J. S.; OLIVEIRA, V. L. B.	Modelização: um caminho facilitador no ensino de genética
	LIAÑO, G. A.; SANTOS, L. D.; VARANDA, L. L.	A genética ao alcance das mãos: confecção e utilização de modelos táteis para a inclusão de alunos com deficiência visual no ensino regular
	GOLDBACH et al.	Construção de modelos facilitadores para o ensino e aprendizagem do tema “fluxo da informação genética”: cordão triplo do fluxo gênico

FONTE: A autora (2018).

A partir de pesquisa realizada utilizando as palavras-chave “ensino-aprendizagem” e “modelo” e a busca cruzada dos termos, foram encontrados 15 trabalhos (QUADRO 3). Estes, assim como os artigos encontrados na intersecção anteriormente descrita, justificam a construção e utilização de modelos didáticos como ferramentas para auxiliar a aprendizagem dos alunos. Corpe e Mota (2014) realizaram a criação e aplicação de modelos didáticos

referentes à imunologia juntamente a estudantes de graduação em Ciências Biológicas, evidenciando a atuação destes como prática interativa que favorecem novos saberes. Já Marques e Martins (2014) fazem uma análise da importância de modelos didáticos representando fungos no ensino de biologia ao aplicarem questionários para alunos e professores sobre o tema. Enquanto que Oliveira et al. (2014) e Ferreira, Gonçalves e Oliveira (2016) apresentam objetivos relacionados a construção de modelos didáticos envolvendo conteúdos de biologia celular: célula animal e vegetal (FERREIRA; GONÇALVES; OLIVEIRA, 2016) e célula vegetal e célula procarionte (também produziram modelos didáticos sobre o desenvolvimento embrionário humano) (OLIVEIRA et al., 2014).

Gonçalves e Comaru (2017) também evidenciaram o papel importante de modelos didáticos no processo ensino-aprendizagem, porém com estudo voltado para a área de experimentação em química.

Leal (2014), em trabalho realizado na área de educação ambiental, descreve a construção de modelos tridimensionais por alunos de Ensino Médio e aplicação para o auxílio do processo ensino-aprendizagem de alunos com deficiência visual, indicando a contribuição dos modelos na inclusão desses alunos.

Em outro trabalho presente nesta intersecção, há o relato de atividades realizadas por um laboratório de ensino em ciências e seu impacto positivo na formação de licenciandos, citando a disponibilidade de diversos materiais pedagógicos, incluindo modelos (SENZIZANCUL, 2014). Enquanto que Oliveira, Cosmann e Schulz (2016), evidenciam a importância do uso de matérias de baixo custo para a produção de modelos didáticos ao trabalharem na construção de materiais didáticos para o Ensino de Biologia.

No trabalho realizado por Tavares, Oliveira e Beiral (2016) o termo “modelo” encontrado pelo mecanismo de busca do ENEBIO não faz referência a modelos didáticos, porém apresenta a elaboração e aplicação de um jogo didático como abordagem para auxílio do ensino-aprendizagem de conceitos bioquímicos. Já o termo modelo em trabalho realizado por Figueroa e Marandino (2013), refere-se a modelos pedagógicos, estudando a utilização destes em museus de ciências e seu papel no ensino-aprendizagem.

Dentre os trabalhos apresentados nesta intersecção, há outros 5 artigos nos quais o termo “modelo” está empregado em outros contextos: “modelo de ação” (PESSANHA, 2017), “modelo de investigação” (RUA; SILVA; BOMFIM, 2017 e KLEIN; VENZKE; HERMEL, 2014), “modelo de saúde” (CARMO; ALMEIDA; ARTEAGA, 2014) e “modelo de sequência didática” (FREITAS et al., 2016).

QUADRO 3 – INTERSECÇÃO MODELO X ENSINO-APRENDIZAGEM

Evento	Autor	Título
ENPEC 2013	FIGUEROA, A. M. S.; MARANDINO, M.	Os modelos pedagógicos na aprendizagem em museus de ciências
ENPEC 2017	GONÇALVES, N. T. L. P.; COMARU, M. W.	A experimentação em Química no contexto das escolas estaduais de ensino médio do município de Viana - Espírito Santo
	PESSANHA, M.	A prática baseada em design: um modelo de ação reflexiva na formação de professores de ciências
	RUA, M. B.; SILVA, L. L.; BOMFIM, A. M.	Biomassas no Ensino de Ciências: uma abordagem através da Educação Ambiental Crítica e Modelo de Investigação na Escola
ENEBIO 2014	OLIVEIRA et al.	Produção de material didático para o ensino de biologia: uma estratégia desenvolvida pelo PIBID/BIOLOGIA/FECLI
	MARQUES, M. F. O.; MARTINS, S. S.	Atividades sobre fungos: instrumentos de intervenção didática no ensino de biologia
	KLEIN, C. L.; VENZKE, T. R. F.; HERMEL, E. E. S.	Investigando o fermento de padaria em uma aula de ciências no ensino fundamental
	CORPE, F. P.; MOTA, E. F.	Utilização de modelos didáticos no ensino-aprendizado em imunologia
	CARMO, J. S.; ALMEIDA, R. O.; ARTEAGA, J. S.	Modelos de saúde: a anemia falciforme em livros didáticos de biologia
	LEAL, M. C. R.	A educação ambiental como um instrumento de inclusão no ensino de biologia
	SENZIZANCUL, M.	Laboratório de ensino de ciências do núcleo de educação científica da Universidade de Brasília (UnB): idealização, organização e atividades realizadas.
ENEBIO 2016	FERREIRA, A. P. P.; GONÇALVES, V.F.; OLIVEIRA, L. N. D.	Construção e aplicação de modelos didáticos de célula animal e vegetal para alunos do ensino fundamental
	FREITAS et al.	Abordagem da parasitologia no ensino médio: uma sequência didática facilitadora no processo de ensino aprendizagem
	OLIVEIRA, P. A. R. G. T.; COSMANN, N. J.; SCHULZ, D. G.	O “lixo” nosso de cada dia sendo transformado em material didático de biologia: relato de experiência do IFPR campus Assis Chateaubriand
	TAVARES, P. V. N.; OLIVEIRA, C. S.; BEIRAL, H. J. V.	O jogo “é divertido comer”

FONTE: A autora (2018).

Todas as intersecções analisadas contribuíram para o desenvolvimento de base para melhor compreensão de diferentes aspectos do tema principal a ser desenvolvido neste trabalho. Para construção de referencial teórico mais diretamente relacionado ao enfoque principal, a partir dos resultados obtidos pelas buscas por “modelo”, “genética” e “ensino-aprendizagem” foi encontrado apenas 1 trabalho abrangendo diretamente estas palavras-chave, porém este trabalho mostrou-se mais direcionado a uma análise do movimento Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente (CTSA). Reis et al. (2013) abrangem uma análise do uso de modelos didáticos sobre o conteúdo de divisão celular no ensino de Biologia através de uma perspectiva CTSA e sugerem uma proposta pedagógica neste âmbito. Este trabalho utiliza conceitos da divisão celular abrangendo tanto a biologia celular quanto a genética envolvida neste processo e estuda aspectos pedagógicos do ensino-aprendizagem no uso de modelo didático em oficina realizada.

Com a busca, categorização e análise dos artigos aqui apresentados, fica evidente a relevância de modelos didáticos como estratégia para o auxílio no processo ensino-aprendizagem de diversos conceitos e temáticas envolvendo as diversas áreas da ciência. No que se refere a sua utilização como ferramenta facilitadora no ensino-aprendizagem de temas de genética há a indicação da sua atuação contribuindo para abordagens diferenciais de assuntos que apresentam dificuldade de compreensão por parte dos alunos, sendo a abstração a principal problemática levantada nesta área.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O desenvolvimento do trabalho aqui apresentado teve como abordagem ao tipo de pesquisa especificamente a pesquisa qualitativa. Nela há a preocupação com a compreensão aprofundada de um grupo social, de uma organização por exemplo, e não necessariamente com a representatividade numérica. Este método visa principalmente explicação sobre o porquê das coisas (SILVEIRA; CORDOVA, 2009). Segundo essa abordagem, “um fenômeno pode ser melhor compreendido no contexto em que ocorre e do qual é parte, devendo ser analisado numa perspectiva integrada” (GODOY, 1995, p. 21). Desta maneira, a pesquisa aqui apresentada foi realizada a partir de uma análise documental para melhor compreensão da área de estudo, suas características e problemáticas, para então proposição de uma ação que visa superar as problemáticas levantadas.

Assim, o levantamento de aporte teórico e a análise de estudos que desenvolveram modelos didáticos na área de genética deram subsídios para que fosse realizada a proposição do modelo didático representacional aqui objetivada.

Grande parte dos trabalhos que envolveram modelos didáticos apontou para a utilização de materiais resistentes e duráveis para que possam ser utilizados em sala de aula, além disso, foi observada importância significativa dada para o uso de materiais acessíveis aos professores para a elaboração e montagem dos modelos didáticos de modo que haja uma facilitação na obtenção dos materiais necessários, e que os mesmos não apresentem um custo muito elevado. Olmo e colaboradores (2014, p. 3571), em trabalho publicado na Enciclopédia Biosfera, também apontaram para o uso de materiais com “baixo custo, fácil acesso, durabilidade, facilidade na confecção e no manuseio pelo professor e alunos”.

A partir deste cenário, foram buscados materiais com estas características para serem propostos no desenvolvimento do modelo didático representacional do enovelamento do DNA.

Para a representação da molécula dupla fita de DNA foi selecionado o uso de “Arame Zincado Macio BWG”, mas é necessário ressaltar a importância na escolha da espessura do fio, visto que fios pouco espessos são muito

maleáveis para a montagem do modelo didático e não mantêm uma estrutura tridimensional coesa em relação ao que se pretende representar nos nucleossomas, na estrutura solenoide e no arcabouço proteico. Por outro lado, fios muito espessos dificultam o manuseio e confecção em detalhes destas mesmas estruturas. Portanto, após testes com fios de diferentes espessuras, optou-se pela utilização de “Arame Zincado Macio BWG” com espessura de 1,24mm para o uso representando a molécula de DNA e de “Arame Zincado Macio BWG” com espessura de 2,11mm (Figura 1) para o uso representando o arcabouço proteico no qual as alças formadas pelo solenoide se conectam para a formação do cromossomo.

FIGURA 1 – ARAMES UTILIZADOS PARA CONFECÇÃO DO MODELO DIDÁTICO



FONTE: A autora (2018).

A princípio para a formação do octâmero de histonas foram utilizadas 8 esferas de isopor agregadas para que então a estrutura representativa do DNA pudesse as envolver na formação do nucleossoma, mas, pode ser percebido que

estas esferas são frágeis e sua associação com o fio de “Arame Zincado Macio BWG”, representando a dupla fita de DNA, é instável devido ao uso de cola quente ser impróprio para isopor e de cola de isopor não aderir muito bem ao metal do arame. Visando um melhor manuseio do modelo pelos alunos, para o aprimoramento da visualização da estrutura em diversos ângulos, é proposto o uso de esferas plásticas de artesanato (Figura 2) (há a possibilidade da utilização de alfinetes com a haste de metal retirada ou até esferas utilizadas em equipamentos de *airsoft*) e a utilização de cola quente. Para a representação das histonas H1 é proposto o uso de DUREPOXI para a confecção de estruturas cilíndricas a serem conectadas aos octâmeros de histonas e moléculas de DNA.

FIGURA 2 – ESFERAS UTILIZADAS PARA CONFECÇÃO DO MODELO DIDÁTICO



FONTE: A autora (2018).

Para a representação das alças formadas pelo solenoide foi optado pelo uso de espirais plásticas, normalmente utilizados para encadernação, devido ao seu baixo custo e fácil acesso aos professores (Figura 3). Novamente foi observada a importância da espessura para um melhor resultado na confecção

do modelo didático e, após testes com diferentes espessuras, decidiu-se pelo uso de espiral plástico 07mm para que as alças fossem mais maleáveis para a conexão ao “Arame Zincado Macio BWG” representando o arcabouço proteico.

FIGURA 3 – ESPIRAIS UTILIZADAS PARA CONFEÇÃO DO MODELO DIDÁTICO



FONTE: A autora (2018).

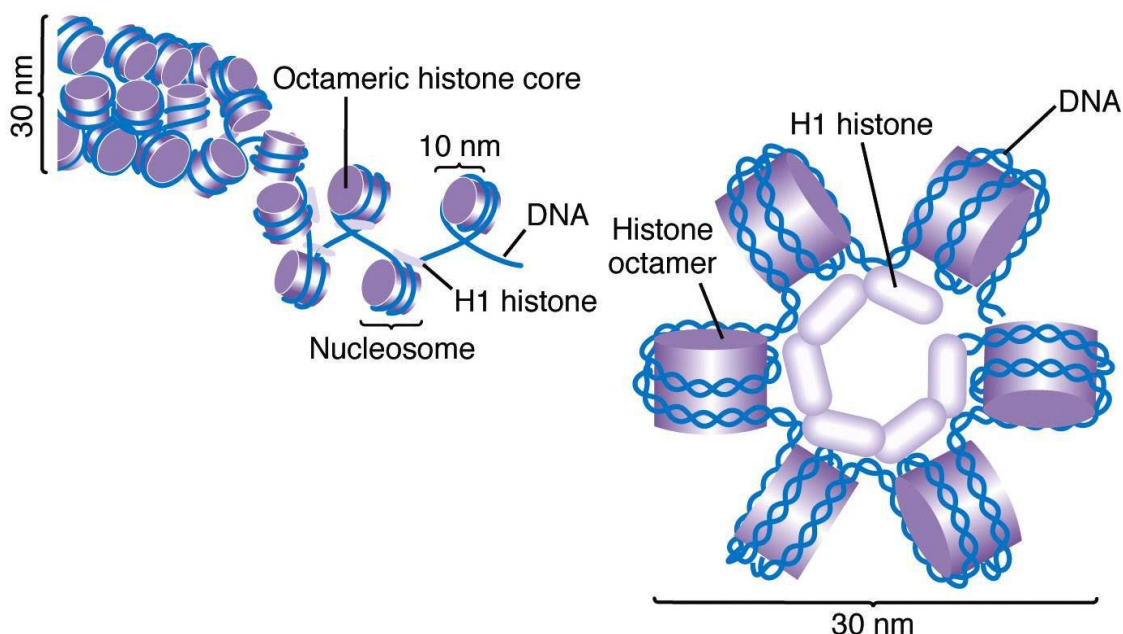
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ENOVELAMENTO E COMPACTAÇÃO DE DNA

As moléculas de ácido desoxirribonucléico (DNA) contêm a informação genética nos organismos e, em eucariotos, está presente no núcleo das células. Para não exceder as dimensões nucleares, necessita ser compactada através de enovelamentos. Isto ocorre inicialmente com a formação dos nucleossomos, nos quais cerca de 145 - 147 pares de base da molécula de DNA dupla-fita envolvem um octâmero de proteínas denominadas histonas (formado por duas cópias de cada histona - H2A, H2B, H3 e H4) e há a ligação da histona H1 (KORNBERG, 1977; MCGHEE; FELSENFELD, 1980). A fibra formada apresenta 10nm de diâmetro e é referida como “colar de contas” da cromatina nos livros (SNUSTAD; SIMMONS, 2008; LODISH et al., 2005).

Essa fibra é então condensada através de um dobramento adicional no qual as histonas H1 estão envolvidas para a estabilização da estrutura, o que compacta o DNA por um fator de 30-40 (WIDOM, 1989 citado por LUGER et al. 1997). Esta fibra de cromatina de 30nm de diâmetro resultante possui diferentes modelos para explicar sua estrutura tridimensional. No modelo solenoide (FINCH; KLUG, 1976; MCGHEE et al., 1983; BUTLER, 1984; WIDOM; KLUG, 1985; WIDOM, 1989; WIDOM, 1998 citados por DABAN, 1999) é formada uma super-hélice contendo aproximadamente 6 nucleossomos por volta (Figura 4). No modelo de “zigue-zague” (WOODCOCK; RATTNER, 1984 citado por DABAN, 1999), a fibra de cromatina seria uma forma compactada do padrão de “zigue-zague” que os nucleossomos apresentam após adição de H1.

FIGURA 4 – NUCLEOSSOMOS E FORMAÇÃO DE SOLENÓIDE



FONTE: GRIFFITHS, A. J. F.; MILLER, J. H.; SUZUKI, D. T; LEWONTIN, R. C.; GELBART, W. M. **An Introduction to Genetic Analysis**. 7th edition. New York: W. H. Freeman, 2000.

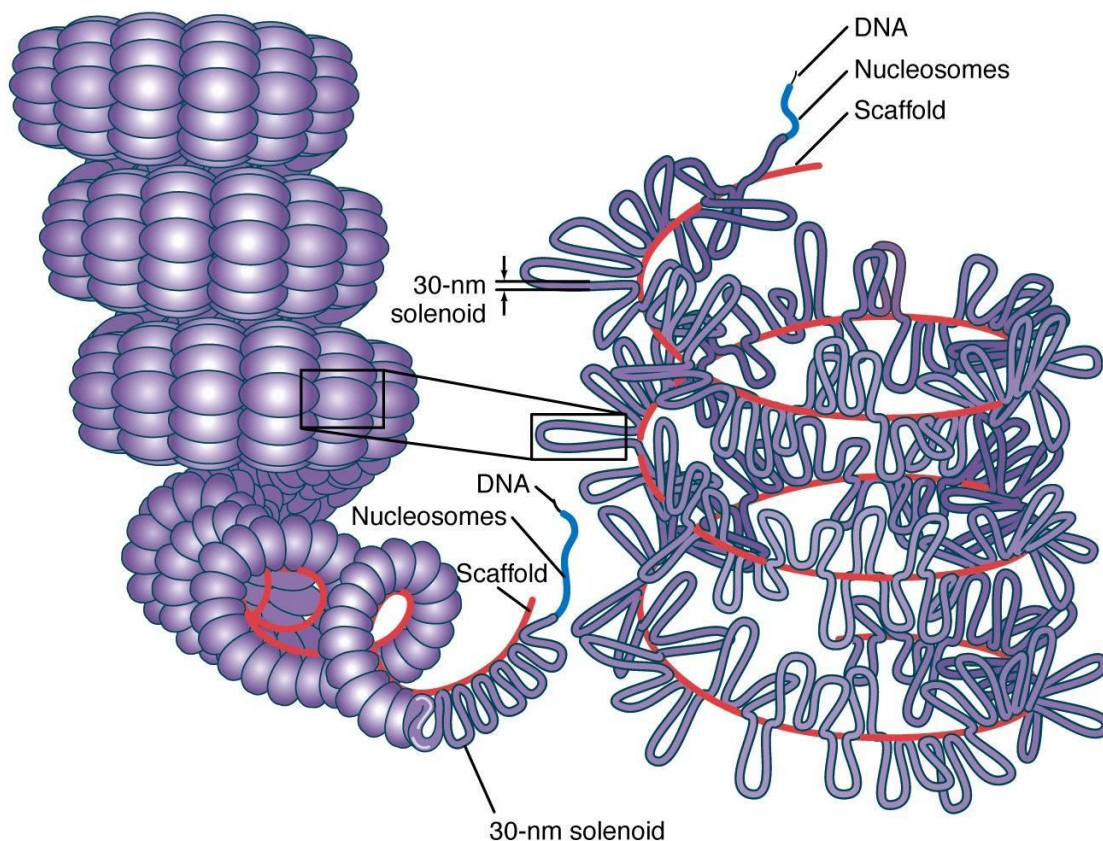
Os detalhes conformacionais desta fibra de cromatina de 30nm ainda são incertos, mas “existem boas evidências de que ela representa uma estrutura tipo solenoide” (SNUSTAD; SIMMONS, 2008, p. 236). No Ensino Médio a compactação neste nível aborda a formação de solenoide, portanto, o modelo didático aqui proposto foi desenvolvido a partir desta conformação

O mecanismo do próximo nível de compactação ainda não está totalmente esclarecido, mas há modelos que sugerem o envolvimento de formação de alças desta fibra de 30nm e fixação em um arcabouço proteico (composto de proteínas cromossômicas não histonas) (MARSDEN; LAEMMLI, 1979; PAULSON; LAEMMLI, 1977; BOY DE LA TOUR; LAEMMLI, 1988; SAITOH; LAEMMLI, 1994). Segundo Griffiths et al. (2000, não p., tradução nossa), “a melhor evidência sugere que os solenoides se dispõem em voltas que emanam da matriz central do arcabouço proteico, sendo que este em si está na forma de uma espiral”.

Na figura 5, é possível observar uma representação deste nível de compactação indicando as alças formadas pelo solenoide, o arcabouço proteico e sua conformação e o superenovelamento presente em cromossomos na metáfase (imagem à esquerda). No modelo didático aqui proposto o arcabouço proteico foi confeccionado em espiral, mas não apresenta uma compactação tão

densa de superenovelamento no qual estas espirais formam uma segunda estrutura em espiral para representação dos cromossomos em metáfase. No Ensino Médio, de maneira geral, não é abordada a conformação específica do arcabouço proteico para a formação dos cromossomos, sendo apenas indicada a formação deste arcabouço em cromossomos metafásicos. Em alguns livros utilizados no Ensino Superior, tais como “Fundamentos de Genética” de Snustad e Simmons (2008), “Biologia Celular e Molecular” de Lodish et al. (2005) e “Biologia Celular e Molecular” de Junqueira e Carneiro (2005) também só é indicada a formação deste arcabouço para um nível maior de compactação em cromossomos metafásicos, mas sem um detalhamento específico.

FIGURA 5 – FORMAÇÃO DO CROMOSSOMO



FONTE: GRIFFITHS, A. J. F.; MILLER, J. H.; SUZUKI, D. T; LEWONTIN, R. C.; GELBART, W. M. **An Introduction to Genetic Analysis**. 7th edition. New York: W. H. Freeman, 2000.

4.2 PROPOSIÇÃO DO MODELO E ORIENTAÇÕES PARA SUA MONTAGEM.

O modelo didático representacional aqui proposto tem o intuito de auxiliar no processo ensino-aprendizagem e atuar na facilitação da compreensão dos conteúdos conceituais referentes ao enovelamento/compactação da molécula de DNA em eucariotos. Para tanto, serão abordadas as principais proteínas envolvidas (tratadas no Ensino Médio) e as estruturas formadas durante o processo nos diferentes níveis de compactação, incluindo a molécula de DNA, octâmero de histonas, histona H1, nucleossoma, solenoide, alças desta fibra de 30nm, arcabouço proteico e cromossomo.

Visando maior durabilidade, baixo custo e fácil acesso, após vários testes, foram selecionados os seguintes materiais:

- Arame Zincado Macio BWG com espessura 1,24mm (100cm).
- Arame Zincado Macio BWG com espessura 2,11mm (100cm).
- Espirais plásticos com espessura de 07mm (50 unidades).
- Esferas plásticas (aproximadamente 250 unidades).
- Pistola de cola quente.
- Refil de cola quente.
- DUREPOXI.

Primeiramente devem ser confeccionadas as estruturas que representam os octâmeros de histonas e, para isto, serão utilizadas as esferas plásticas e a cola quente. Devem ser coladas 8 esferas plásticas com o uso da cola quente em formato de “cubo” (Figura 6).

FIGURA 6 – REPRESENTAÇÃO OCTÂMERO DE HISTONAS



FONTE: A autora (2018).

Então, deve-se envolver o fio de “Arame Zincado Macio BWG” com espessura 1,24mm ao entorno de cada estrutura representativa do octâmero de histonas de maneira que dê pelo menos uma volta completa. Usar cola quente para afixar firmemente o arame ao entorno das esferas plásticas.

Após, instrui-se manusear estas estruturas representativas do nucleossoma de maneira que a cada 6 “cubos” envolvidos com arame seja formada uma volta da espiral do solenoide. Utilizar a massa DUREPOXI para a confecção das histonas H1 em forma representativa de cilindro para melhor encaixe na representação de nucleossoma (Figura 7 e 8).

FIGURA 7 – REPRESENTAÇÃO HISTONAS H1



FONTE: A autora (2018).

FIGURA 8 – REPRESENTAÇÃO DO SOLENÓIDE. FIXAÇÃO DAS HISTONAS H1



FONTE: A autora (2018).

Para a representação das alças formadas pelo solenoide, devem ser utilizados os espirais plásticos. Primeiramente cortar os espirais na metade a fim de se obter 2 fragmentos menores. Cada um destes deve ser moldado em forma de alça e fixado em torno do “Arame Zincado Macio BWG” com espessura 2,11mm de modo a representar a conexão ao arcabouço proteico (na Figura 9 há um exemplo da representação desse arcabouço sobre o qual as espirais devem ser fixadas).

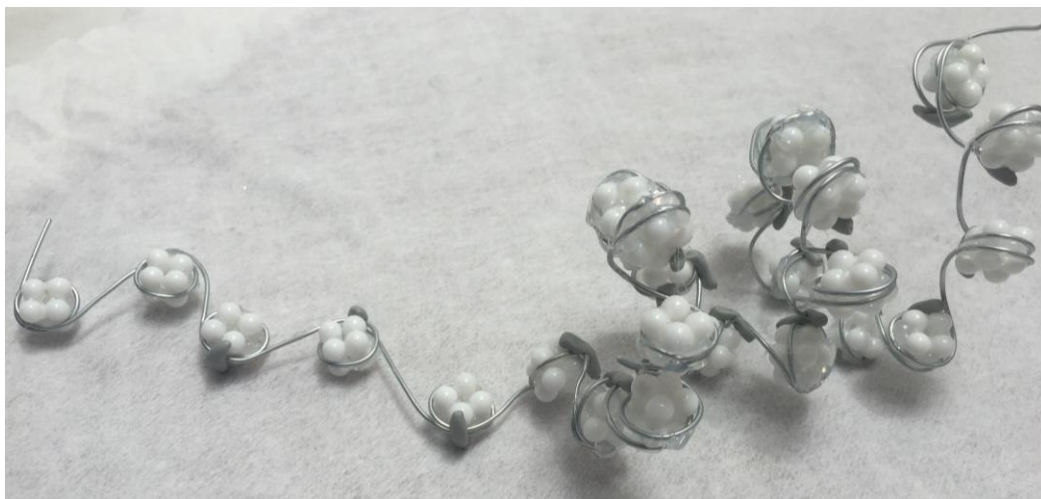
FIGURA 9 – EXEMPLO DE REPRESENTAÇÃO DO ARCABOUÇO PROTEICO



FONTE: A autora (2018).

Com a confecção do modelo didático, é possível observar que podem ser abrangidos desde os conhecimentos relativos à formação do nucleossoma até os relacionados à formação do cromossomo (Figuras 10 e 11).

FIGURA 10 – MODELO DIDÁTICO: NUCLEOSSOMA A SOLENÓIDE



FONTE: A autora (2018).

FIGURA 11 – MODELO DIDÁTICO REPRESENTACIONAL DO ENOVELAMENTO DO DNA



FONTE: A autora (2018).

Justina e Ferla (2006) realizaram estudo sobre a utilização de modelos didáticos envolvidos no ensino de genética e para tanto exemplificaram através do uso de representação de compactação de DNA eucarioto. No modelo proposto por eles, há a utilização de esferas de isopor para a montagem da representação dos octâmeros de histonas, porém isto torna o material um tanto frágil e que necessita de manuseio muito cuidadoso pelos alunos, além de dificultar a fixação no fio de arame e ser necessário o uso de cola específica para o isopor. No modelo proposto no trabalho aqui apresentado, há a substituição por esferas plásticas por serem mais resistentes e não necessitarem de cola específica; há uma melhora na praticidade durante a confecção do “cubo” com as 8 esferas e sua fixação com o fio de arame ao entorno visto que ambas podem ser realizadas com o uso de cola quente.

No estudo de Justina e Ferla (2006) há a proposição da utilização de hastes de ferro e solda para ferro para a confecção do modelo didático, mas estes materiais são muito específicos e pouco acessíveis geralmente, de maneira que os professores para a confecção do modelo teriam de descobrir outras formas para esta parte da montagem ou buscar auxílio para aquisição e manuseio destes materiais. O modelo aqui apresentado descarta o uso destes materiais, substituindo-os por “Arame Zincado Macio BWG” com espessura 2,11mm que pode ser encontrado facilmente em lojas de materiais de construção. A utilização de arame permite que o fio seja manuseado de forma a moldar a estrutura geral do cromossomo sem necessitar de solda.

Neste estudo, Justina e Ferla (2006) propõem a fixação da estrutura geral do cromossomo em uma base de madeira de maneira que facilite sua exibição e afirmam que o modelo didático proposto “possibilita o manuseio do material concreto e a visualização, neste caso, da representação do DNA eucarioto, estimulando a participação dos alunos” (JUSTINA; FERLA, 2006, p. 39). Para ampliar esta característica positiva de modelos acerca do enovelamento e compactação do DNA, é proposto no modelo didático aqui apresentado a não fixação do modelo em uma base de madeira, pois desta maneira os alunos poderão manusear o modelo descomplicadamente, facilitar a visualização por todos os ângulos e a compreensão de sua estrutura nas 3 dimensões.

A proposição aqui apresentada envolve também, além dos conhecimentos referentes ao enovelamento do DNA nos primeiros níveis de compactação, maiores níveis de compactação vistos em cromossomos metafásicos. Para tanto, o arcabouço proteico foi representado por “Arame Zincado Macio BWG” com espessura 2,11mm de maneira que fosse possível o seu manuseio para a conexão da fibra de solenoide em alças e formação com o arame de espirais que compreendem uma possível conformação deste arcabouço proteico em níveis maiores de compactação (Figura 12). No estudo realizado por Justina e Ferla (2006) não há um detalhamento neste nível superior de compactação, uma vez que o arcabouço proteico representado em seu modelo didático não apresenta uma conformação espacial/tridimensional em espiral.

FIGURA 12 – REPRESENTAÇÃO DO CROMOSSOMO METAFÁSICO. FIXAÇÃO DAS FIBRAS DO SOLENÓIDE EM FORMA DE ALÇAS NO ARCABOUÇO PROTÉICO



FONTE: A autora (2018).

4.3 SUGESTÃO DE PLANEJAMENTO PEDAGÓGICO PARA A IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO.

A utilização de modelos didáticos como recursos para a facilitação no processo ensino-aprendizagem é promissora e a partir do seu uso “pretende-se ampliar a reflexão, o debate e a participação ativa dos estudantes no processo de sua aprendizagem” (DUSO et al., 2013, p. 31). Entretanto, é necessário ressaltar a importância da construção apropriada dos modelos e de sua inserção em sala de aula através de um planejamento pedagógico adequado.

Krasilchick (2004) indica que sua aplicação pode envolver algumas problemáticas, como os estudantes compreenderem que os modelos didáticos são meras simplificações do objeto real ou simples momentos de um processo dinâmico. Sugere a participação do aluno na construção dos próprios modelos como forma de diminuir estas problemáticas.

Justina e Ferla (2006, p. 39) ressaltam “o perigo de não haver problematização e se não forem explicitados os limites do material como mera representação analógica”. Além disso, indicam que um “cuidado a ser tomado é garantir que fique claro para o aluno, a localização física do DNA, pois assim o professor ajuda a encontrar um sentido no estudo dos constituintes da célula” (JUSTINA; FERLA, 2006, p. 39).

A partir disso, percebe-se a importância de se explicitar com clareza aos estudantes a atuação do modelo didático como uma representação e não a estrutura real, porém, ponderando não ser uma mera simplificação. Ao que diz respeito à contextualização do material, é válido indicar uma abordagem metodológica em que sua atuação não seja apenas de exemplificação e cotidiana, mas sim problematizadora e que envolva o desenvolvimento de criticidade por parte dos alunos.

Há necessidade também de se buscar uma construção adequada de modelos didáticos, na qual os conteúdos abordados na representação sejam verificados cientificamente e não representados de maneira errônea. Além disso, é ressaltada a escolha pela utilização de materiais que possam facilitar a confecção das estruturas de maneira esquemática.

4.3.1 PLANEJAMENTO PEDAGÓGICO

Para a utilização do modelo didático aqui proposto, será apresentada na sequência uma sugestão de plano de aulas em que seu uso pode enriquecer o contexto escolar e facilitar o processo ensino-aprendizagem do tema. É importante ressaltar a indicação para a utilização de recursos didáticos de fácil acesso aos professores, e baixo custo, o que possibilita a adaptação e implementação deste planejamento em escolas de diferentes realidades.

Nível de Ensino: 3º ano do Ensino Médio.

Número de aulas: 4 aulas; 2 dias com 2 aulas geminadas.

Tempo de aula: 50 minutos por aula, totalizando 1h40min por dia.

Tema: Genética.

AULAS 1 E 2

Recursos didáticos: Modelo didático representacional do enovelamento do DNA, lousa e giz.

Conteúdos conceituais: Ácido Desoxirribonucleico (DNA) e sua estrutura; cromossomos e sua estrutura; genes; genótipo e fenótipo.

Objetivos: Propiciar uma abordagem acerca das estruturas componentes do modelo dupla-hélice da molécula de DNA e dos diferentes níveis de compactação do DNA incluindo a descrição da ação e formação do octâmero de histonas, nucleossomos, solenoide, arcabouço proteico e cromossomo em si.

Dessa maneira, fornecer subsídios para uma melhor compreensão de conteúdos conceituais base na genética para que os estudantes possam melhor assimilar diferentes conhecimentos genéticos em sua integralidade a partir da ciência e compreensão do processo dinâmico das estruturas do DNA e do cromossomo.

Proporcionar um melhor entendimento aos alunos acerca dos genes, genótipo e fenótipo tendo como embasamento os conhecimentos abordados no enovelamento do DNA e estrutura da molécula de DNA.

Metodologia: Iniciar a aula instigando os alunos a sugerirem hipóteses sobre o que seria o modelo didático e o que cada item representa, debatendo

com eles e mediando a discussão até chegar ao tópico DNA. A partir disso, abordar os conteúdos conceituais sobre a molécula de DNA, enovelamento, gene, genótipo e fenótipo.

Retomar o modelo didático e explicitar a relação entre o que cada item representa, ressaltar a dinamicidade dos processos representados e que o modelo é limitado a ser uma representação analógica. Possibilitar a visualização e manuseio do modelo didático pelos alunos para que possam melhor compreender as estruturas presentes.

Solicitar aos alunos a construção de um mapa conceitual contendo os assuntos abordados até então na aula. Auxiliar os alunos na construção destas relações no mapa conceitual, evidenciando conteúdos conceituais importantes.

Avaliação: Utilizar o desenvolvimento dos mapas conceituais individuais, participação nos debates e o mapa conceitual em si como critérios de avaliação.

AULAS 3 E 4

Recursos didáticos: Notícias de jornais e revistas (ANEXO I, ANEXO II, ANEXO III e ANEXO IV), lousa, giz e modelo didático representacional do enovelamento do DNA.

Conteúdos conceituais: Ácido Desoxirribonucleico (DNA) e sua estrutura; cromossomos e sua estrutura; genes; genótipo e fenótipo.

Objetivos: Expandir a compreensão acerca dos genes, genótipo e fenótipo tendo como embasamento os conhecimentos abordados no enovelamento do DNA e estrutura da molécula de DNA.

Ressaltar a importância da genética no dia-a-dia dos estudantes e instigar reflexão acerca de sua participação em esferas social (a apresentação de diversos fenótipos humanos e sua correlação em como a pessoa é tratada pela sociedade; preconceito, racismo; bioética), econômica (investimento em testes genéticos para ter ciência da possibilidade de ocorrência ou não de determinada doença, terapia gênica e biotecnologia), política (leis e amparos legais que discorrem acerca da bioética envolvida em tratamentos gênicos) e ambiental (impacto humano no meio ambiente e o estudo da genética).

Estimular uso de criticidade para o debate e interpretação de textos envolvendo a aplicabilidade da genética e seus impactos no cotidiano dos estudantes.

Metodologia: Inicialmente haverá a apresentação do modelo didático e conversa retomando sua representação e assuntos principais envolvidos. Em seguida haverá uma explicação geral da atividade a ser desenvolvida e divisão dos alunos em vários grupos. Após, cada grupo deverá se reunir e ler um texto envolvendo genética (ANEXO I, II, III e IV), podendo este texto estar presente em mais de um grupo dependendo da divisão e número dos alunos presentes em sala de aula. Então os grupos deverão apresentar os principais pontos abordados no texto lido. Haverá um debate em sala de aula ressaltando o uso da genética, seus impactos sociais, econômicos, políticos e no meio ambiente, relembrando os conteúdos conceituais abordados na aula passada e relacionando com a contextualização da genética. Por fim, os alunos deverão elaborar um texto abordando um assunto de seu interesse relativo à genética e sua implicação nas diferentes esferas.

Avaliação: Analisar a participação no debate e a elaboração dos textos.

4.3.2 PERSPECTIVAS DA PROPOSIÇÃO DO MODELO DIDÁTICO REPRESENTACIONAL DO ENOVELAMENTO DO DNA.

Com esta proposição do modelo didático representacional do enovelamento do DNA, buscou-se o desenvolvimento de um recurso didático que pudesse atuar na facilitação do processo ensino-aprendizagem de conteúdos conceituais abordados na genética no Ensino Médio, em que são necessários característicos níveis de abstração por parte dos alunos para sua compreensão.

A partir disso, é possível elencar como aspectos positivos desta proposição a utilização de materiais que realmente são de fácil acesso ao professor, são duráveis e com baixo custo para a escola, podendo ser reproduzido em diferentes contextos escolares. O uso do modelo didático aqui proposto estimula a participação do aluno na dinâmica da sala de aula, aproxima o conhecimento ao aluno e promove interação do aluno com o modelo, visto que este pode ser manuseado pelos alunos para uma melhor visualização e compreensão da estrutura por todos os ângulos.

Em estudo publicado, Piaget (1964, traduzido por SLOMP, 2009) caracteriza:

... a criança e o sujeito da aprendizagem como ativos. Uma operação é uma atividade. A aprendizagem é possível apenas quando há uma assimilação ativa. É essa atividade de parte do sujeito que me parece omitida no esquema estímulo-resposta. A formulação que proponho coloca ênfase na idéia da auto-regulação, na assimilação. Toda ênfase é colocada na atividade do próprio sujeito, e penso que sem essa atividade não há possível didática ou pedagogia que transforme significativamente o sujeito.

Desta maneira, ele atribui o processo ensino-aprendizagem como um processo ativo e dá grande valor à aprendizagem por descoberta.

Amorim (2013) afirma que o uso de modelo didático está entre as intervenções pedagógicas que mais auxiliam no processo de aprendizagem significativa, justamente porque permite ao aluno uma participação ativa no processo ensino-aprendizagem (citado por GUIMARÃES et al., 2016).

Portanto, com a utilização do modelo didático aqui proposto, é possibilitada uma abordagem na qual o aluno faz um processo ativo de aprendizagem quando realiza a assimilação entre o que está representado no modelo e os conteúdos conceituais inerentes a essa representação.

Além disso, através da proposta pedagógica aqui sugerida, é possível o desenvolvimento de atividades que incentivem o uso da criticidade com relação à contextualização dos conteúdos conceituais abordados em sala em relação às esferas sociais, econômicas, políticas e ao meio ambiente. Há também o estímulo para a interação dos estudantes e desenvolvimento de habilidades inter-pessoais tão importantes nesta fase da vida.

Em contraponto, é importante ressaltar as limitações deste modelo didático e possíveis pontos para aprimoramento em estudos futuros. Deve-se ter uma atenção em relação à aplicação do modelo didático em sala de aula, visto que este pode atuar apenas como exemplificação e não colaborar para uma problematização e no processo de aprendizagem por descoberta ao ser apresentado como mera representação e sem um questionamento prévio aos estudantes sobre o que este material poderia estar representando. Além disso, sem o devido encaminhamento metodológico por parte do professor, o modelo didático representacional do enovelamento do DNA pode restringir o aluno a

pensar de maneira simplista e não como um processo dinâmico e complexo que ocorre nas células.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os processos de ensino-aprendizagem são amplamente estudados visando uma melhor compreensão dos diversos fatores envolvidos e das possibilidades de aprimoramento para o benefício dos agentes envolvidos. A atuação do professor em sala de aula, suas metodologias, a compreensão dos assuntos por parte dos alunos, a dinâmica envolvida nas aulas são muito importantes nestes processos e abordagens diferenciais que atuem como facilitadoras nestes aspectos são muito positivas. Dentre estas abordagens há o uso de recursos didáticos.

Há uma importância na utilização de recursos didáticos nos processos de ensino-aprendizagem para auxiliar o aluno na assimilação do conteúdo trabalhado, de maneira que seja possível, inclusive, desenvolver “sua criatividade, coordenação motora e habilidade ao manusear objetos diversos que poderão ser usados pelo professor na aplicação de suas aulas” (SOUZA, p. 112-113, 2007).

Com relação aos modelos didáticos, especificamente, há a indicação por pesquisadores em educação que o uso do processo de construção e reformulação de modelos pode, potencialmente, desenvolver o conhecimento dos estudantes em vários aspectos (MAIA; JUSTI, 2009), podendo facilitar o processo ensino-aprendizagem (BARROS; OLIVEIRA, 2016 e GOLDBACH et al., 2016).

Assim, os modelos didáticos têm a possibilidade de atuarem como facilitadores do processo de visualização (GILBERT; BOULTER, 1998; KRASILCHICK, 2004), o que pode ser um ponto muito positivo em se tratando do Ensino de Biologia. Além disso, é ressaltada a importância do uso de modelos que envolvam diferentes pontos dentro da Biologia como ferramentas que facilitem a conexão dos assuntos fragmentados pelos livros didáticos (BARROS; OLIVEIRA, 2016).

No levantamento bibliográfico realizado a partir da busca por trabalhos apresentados nas edições IX, X, XI do Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPEC) e nas edições V e VI do Encontro Nacional de Ensino de Biologia (ENEBO), juntamente realizados com o II Encontro Regional de Ensino de Biologia (EREBIO) da Regional 01 e o VIII EREBO da Regional

03, foi possível observar que o ensino de genética aborda conhecimentos muitas vezes abstratos (BARROS; SILVA, 2016; BARROS; OLIVEIRA, 2016; HAYATA; KUNZLER; LESSMANN, 2014; SOUTO; SANTOS; BORGES, 2016), de difícil compreensão (FERREIRA et al., 2016; SOUTO; SANTOS; BORGES, 2016) e visualização (PEREIRA et al., 2014). Sendo o grau de abstração e a indicação da escassez de uma abordagem integrada de conceitos genéticos (GOLDBACH et al., 2014; GOLDBACH et al., 2016) as principais problemáticas levantadas.

A utilização de modelos didáticos no ensino de genética pode auxiliar o processo ensino-aprendizagem e entendimento da genética (GUILHERME; SILVA; GUIMARÃES, 2012; BRANDÃO; ACEDO, 2000 citado por JUSTINA; FERLA, 2006; MARTINEZ, FUJIHARA; MARTINS, 2008) atuando de maneira a minimizar as problemáticas observadas.

A proposição do modelo didático representacional sobre o enovelamento do DNA e sugestão de planejamento pedagógico para sua implementação aqui desenvolvidas buscam contribuir neste cenário, sendo desenvolvidas a partir dos pontos levantados de maneira a auxiliar o professor e os alunos no processo ensino-aprendizagem deste tema de genética. Mas, além disso, poder auxiliar em uma abordagem mais visual e dinâmica dos conteúdos conceituais, paralelamente a um desenvolvimento de maior criticidade em relação à atuação da genética nas esferas social, econômica, política e ambiental.

A confecção do modelo didático proposto valoriza a utilização de materiais que sejam de fácil acesso ao professor, duráveis e de baixo custo, o que possibilita sua execução por professores inseridos em escolas de diversas realidades, além do manuseio, por parte dos alunos, por todos os ângulos, o que amplia a noção de tridimensionalidade.

Com a pesquisa e desenvolvimento deste modelo didático na área de Biologia foi possível observar, também, um campo com muitas potencialidades de estudo e ampliação. Mesmo que essa abordagem pedagógica tenha surgido na pesquisa em Ensino de Física e só depois desenvolvida para o Ensino de Ciências em geral (GRECA; SANTOS, 2005) e que os estudos envolvendo a utilização de atividades de modelização em aulas de Química e Biologia sejam em menor número e com foco na construção de modelos representacionais (Duso et al. 2013), percebeu-se a importância do desenvolvimento de estudos na área da Biologia.

Por fim, é importante ressaltar a potencialidade na utilização do modelo aqui proposto e o quanto pode auxiliar diferentes abordagens para a facilitação do processo ensino-aprendizagem. Tendo isso em mente, o desenvolvimento de mais pesquisas em se tratando da temática aqui abordada tem um caráter muito positivo e implica em um constante aprimoramento. Assim, a pesquisa aqui realizada buscou contribuir neste sentido e percebeu-se um campo de diversas possibilidades para pesquisas futuras.

REFERÊNCIAS

ALENCAR, L. A.; FERREIRA, L. B. M. Filosofia para crianças como modelo para ensinar conceitos básicos de biologia celular e genética para alunos dos 7º. ano/ 8ª. Série do ensino fundamental. **Revista da Associação Brasileira de Ensino de Biologia**, [S.L.], n. 9, p. 3025-3036, 2016.

AMORIM, A.S. A influência do uso de jogos e modelos didáticos no ensino de biologia para alunos de ensino médio. 2013. 49f. Monografia (Licenciatura em Ciências Biológicas) - Universidade Aberta do Brasil, Centro de Ciências e Saúde, Universidade Estadual do Ceará, Ceará, 2013.

ASTOLFI, J. P.; DEVELAY, M. **A didática das ciências**. São Paulo: Papirus, 2001.

BARBOSA, V. V.; SILVA, M. F.; MENDES, C. F. Construção de um modelo representativo como método de ensino para o estudo da biofísica do olho humano. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA E ENSINO EM CIÊNCIAS, II, 2017, Campina Grande (PB).

BARONE, L. T. O geneticista italiano que desmontou o conceito de raça. **El País**. Disponível em:<https://brasil.elpais.com/brasil/2018/09/03/ciencia/1535974124_908508.html>. Acesso em: 25 out. 2018.

BARROS, J. S.; OLIVEIRA, V. L. B. Modelização: um caminho facilitador no ensino de genética. **Revista da Associação Brasileira de Ensino de Biologia**, [S.L.], n. 9, p. 6255-6265, 2016.

BARROS, G. D.; SILVA, D. M. S. O uso de um recurso didático como subsídio para o ensino de genética. **Revista da Associação Brasileira de Ensino de Biologia**, [S.L.], n. 9, p. 4250-4261, 2016.

BOY DE LA TOUR, E.; LAEMMLI, U. K. The metaphase scaffold is helically folded: Sister chromatids have predominantly opposite helical handedness. **Cell**, [S.L.], v. 55, n. 6, p. 937-944, 1988.

BRANDÃO, R.L.; ACEDO, M. D. P. Modelos didáticos em genética: a regulação da expressão do operon de lactose em bactérias. In: CONGRESSO NACIONAL DE GENÉTICA, 46. São Paulo, 2000. Genetics and Molecular Biology, [S.L.], v. 23, n. 3, 2000.

BRÃO, A. F. S. Colorindo a genética quantitativa. **Revista da Associação Brasileira de Ensino de Biologia**, [S.L.], n. 9, p. 3350-3361, 2016.

BUNGE, M. **Teoria e realidade**. São Paulo: Perspectiva, 1974.

BUTLER, P. J. A defined structure of the 30 nm chromatin fibre which accommodates different nucleosomal repeat lengths. **The EMBO Journal**, [S.L.], v. 3, n. 11, p. 2599-2604, 1984.

CARMO, J. S.; ALMEIDA, R. O.; ARTEAGA, J. S. Modelos de saúde: a anemia falciforme em livros didáticos de biologia. **Revista da Associação Brasileira de Ensino de Biologia**, [S.L.], n. 7, p. 2991-3002, 2014.

CASTOLDI, R.; POLINARSKI, C. A. A Utilização de Recursos Didático-Pedagógicos na Motivação da Aprendizagem. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA, I edição, 2009, Ponta Grossa.

COLINAUX, D. (org) **Modelos e educação em ciências**. Rio de Janeiro: Ravil; 1998.

COMAS, S. B. Por que ainda não se usa a modificação genética para eliminar doenças? **El País**. Disponível em: <https://brasil.elpais.com/brasil/2018/07/06/ciencia/1530878574_922490.html?rel=mas>. Acesso em: 25 out. 2018.

CORPE, F. P.; MOTA, E. F. Utilização de modelos didáticos no ensino-aprendizado em imunologia. **Revista da Associação Brasileira de Ensino de Biologia**, [S.L.], n. 7, p. 2070-2080, 2014.

DABAN, J. R. Physical Constraints in the Condensation of Eukaryotic Chromosomes. Local Concentration of DNA versus Linear Packing Ratio in Higher Order Chromatin Structures. **Biochemistry**, [S.L.], v. 39, n. 14, p. 3861-3866, 2000.

DRAKE, N. Gene misterioso está ausente na maioria dos mamíferos marinhos. **National Geographic**. Disponível em: <<https://www.nationalgeographicbrasil.com/2018/08/mamiferos-marinhos-gene-misterioso-baleia-golfinho-peixe-boi-pesticida-adaptacao-oceano>>. Acesso em: 25 out. 2018.

DUSO, L.; CLEMENT, L.; PEREIRA, P. B.; ALVES FILHO, J.P. Modelização: Uma possibilidade didática no ensino de biologia. **Revista Ensaio**, Belo Horizonte, v. 15, n. 2, p. 29-44, maio/ago. 2013.

FERREIRA, A. P. P.; GONÇALVES, V.F.; OLIVEIRA, L. N. D. Construção e aplicação de modelos didáticos de célula animal e vegetal para alunos do ensino fundamental. **Revista da Associação Brasileira de Ensino de Biologia**, [S.L.], n. 9, p. 1881-1888, 2016.

FERREIRA, C.P.; SÁ, A. F.; EVANGELISTA, V. H. C.; SANTOS, C. E. B.; ROCHA, L.; GOLDBACH, T.; MERHY, T. S. M. Despertando interesse por genética através do uso de materiais lúdicos em espaços não formais de educação. **Revista da Associação Brasileira de Ensino de Biologia**, [S.L.], n. 9, p. 3549-3557, 2016.

FIGUEROA, A. M. S.; MARANDINO, M. Os modelos pedagógicos na aprendizagem em museus de ciências. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, IX, 2013, Águas de Lindóia.

FINCH, J. T.; KLUG, A. Solenoidal model for superstructure in chromatin. **Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.**, [S.L.], v. 73, n. 6, p. 1897-1901, 1976.

FREITAS, M. S.; DAMASCENO, I. T.; BARBOSA, S. S.; SOUSA, A. O.; CERCUNDO, G. S. S.; SANTOS, A. M.; ALMEIDA, O. S. Abordagem da parasitologia no ensino médio: uma sequência didática facilitadora no processo de ensino aprendizagem. **Revista da Associação Brasileira de Ensino de Biologia**, [S.L.], n. 9, p. 1759-1768, 2016.

GILBERT, J. K; BOULTER, C. J. Aprendendo ciências através de modelos e modelagem. In: COLINVAUX, D. (org). **Modelos e educação em ciências**. Rio de Janeiro: Ravil, p. 12-34, 1998.

GIORDAN, A.; VECCHI, G. **As Origens do Saber**: das concepções dos aprendentes aos conceitos científicos. Porto Alegre: Ed. Artes Médicas, 1996.

GODOY, A. S. Pesquisa Qualitativa – Tipos fundamentais. **Revista de Administração de Empresas**. São Paulo, v. 35, n. 3, p. 20-29, 1995.

GOLDBACH, T.; MERHY, T. S. M.; REIS, S. A.; PEREIRA-FERREIRA, C.; JUNGER, T. M.; PAIVA, R.; DIOCESANO, K. Construção de modelos facilitadores para o ensino e aprendizagem do tema “fluxo da informação genética”: cordão triplo do fluxo gênico. **Revista da Associação Brasileira de Ensino de Biologia**, [S.L.], n. 9, p. 7823-7834, 2016.

GOLDBACH, T.; SILVA, B. A. F. S.; ALVES, W.; OKUDA, L. V. O.; MERHY, T. S. M.; REIS, S. A. Nedicóide: um modelo didático para abordagem integrada da temática genética no ensino médio. **Revista da Associação Brasileira de Ensino de Biologia**, [S.L.], n. 7, p. 7085-7096, 2014.

GOMES, L. R.; ROCHA, D. P. Proposta de jogo didático: “as descobertas de Mendel”. **Revista da Associação Brasileira de Ensino de Biologia**, [S.L.], n. 7, p. 4837-4844, 2014.

GONÇALVES, N. T. L. P.; COMARU, M. W. A experimentação em Química no contexto das escolas estaduais de ensino médio do município de Viana - Espírito Santo. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, XI, 2017, Florianópolis.

GONÇALVES, V. F.; FERREIRA, A. P. P.; SIQUEIRA, A. S.; OLIVEIRA, L. N. D. Baralho da mitose e meiose: o lúdico e os processos de divisão celular. **Revista da Associação Brasileira de Ensino de Biologia**, [S.L.], n. 9, p. 1950-1959, 2016.

GRECA, I. M.; SANTOS, F.M.T. Dificuldades da generalização das estratégias de modelação em Ciências: o caso da Física e da Química. **Investigações em Ensino de Ciências**, [S.L.], v. 10, n. 1, p. 31-46, 2005.

GRIFFITHS, A. J. F.; MILLER, J. H.; SUZUKI, D. T; LEWONTIN, R. C.; GELBART, W. M. **An Introduction to Genetic Analysis**. 7th edition. New York: W. H. Freeman, 2000.

GUILHERME, B. C.; SILVA, A. M. P. M.; GUIMARÃES, W. N. R. Análise de propostas de ensino de genética através do uso de modelos didáticos. In: COLÓQUIO INTERNACIONAL “EDUCAÇÃO E CONTEMPORANEIDADE”, VI, 2012, São Cristóvão.

GUIMARÃES, E. G.; CASTRO, L. S.; BAUTZ, K. R.; ROCHA, G. L. O uso de modelo didático como facilitador da aprendizagem significativa no ensino de biologia celular. In: XX Encontro Latino Americano de Iniciação Científica, XVI Encontro Latino Americano de Pós-Graduação e VI Encontro de Iniciação à Docência, 2016, São José dos Campos.

GUTIERREZ, R. Polissemia actual del concepto “Modelo Mental”. Consecuencias para la Investigacion didactica. **Investigações em Ensino de Ciências**, [S.L.], v. 10, n. 2, p. 209-226, 2005.

HAYATA, M. A.; KUNZLER, A.; LESSMANN, C. A contribuição do PIBID biologia para o ensino do conteúdo de genética nas escolas estaduais Getúlio Vargas e Padre Anchieta, em Florianópolis-SC. **Revista da Associação Brasileira de Ensino de Biologia**, [S.L.], n. 7, p. 5239-5250, 2014.

JOHNSON-LAIRD, P. N. **Mental Models**. Cambridge: Cambridge University Press, 1983.

JUNQUEIRA, L. C.; CARNEIRO, J. **Biologia Celular e Molecular**. 8ª Edição. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2005.

JUSTI, R. La enseñanza de ciencias basada em la elaboración de modelos. **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v.24, n. 2, p. 173-184, 2006.

JUSTINA, L. A. D.; FERLA, M. R. A utilização de modelos didáticos no ensino de Genética - exemplo de representação de compactação do DNA eucarioto. **ArqMudi**, [S.L.], v. 10, n. 2, p. 35-40, 2006.

KLEIN, C. L.; VENZKE, T. R. F.; HERMEL, E. E. S. Investigando o fermento de padaria em uma aula de ciências no ensino fundamental. **Revista da Associação Brasileira de Ensino de Biologia**, [S.L.], n. 7, p. 1393-1400, 2014.

KNELLER, G. F. **A ciência como atividade humana**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Zahar, 1980.

KORNBERG, R. D. Structure of chromatin. **Annual Review of Biochemistry**, [S.L.], v. 46, p. 931-954, 1977.

KRAPRAS, S.; QUEIROZ, G.; COLINVAUX, D.; FRANCO, C. Modelos: Uma Análise de sentidos na literatura de pesquisa em Ensino de Ciências. **Investigações em Ensino de Ciências**, [S.L.], v. 2, n. 3, p. 185-205, 1997.

KRASILCHICK, M. **Práticas do ensino de biologia**. São Paulo: EDUSP; 2004.

LEAL, M. C. R. A educação ambiental como um instrumento de inclusão no ensino de biologia. **Revista da Associação Brasileira de Ensino de Biologia**, [S.L.], n. 7, p. 5375-5385, 2014.

LIAÑO, G. A.; SANTOS, L. D.; VARANDA, L. L. A genética ao alcance das mãos: confecção e utilização de modelos táteis para a inclusão de alunos com deficiência visual no ensino regular. **Revista da Associação Brasileira de Ensino de Biologia**, [S.L.], n. 9, p. 7279-7289, 2016.

LODISH, H.; BERK, A.; MATSUDAIRA, P.; KAISER, C. A.; KRIEGER, M.; SCOTT, M. P. **Biologia Celular e Molecular**. 5ª Edição. Porto Alegre: Artmed, 2005.

LUGER, K.; MADER, A. W.; RICHMOND, R. K.; SARGENT, D. F.; RICHMOND, T. J. Crystal structure of the nucleosome core particle at 2.8 Å resolution. **Nature**, [S.L.], v. 389, p. 251-260, 1997.

MACHADO, J. **Modelização na formação inicial de professores de física**. 178 f. Dissertação (Mestrado em Educação Científica e Tecnológica), Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências da Educação, Florianópolis, 2009.

MAIA, P. F.; JUSTI, R. Contribuições de atividades de modelagem para o desenvolvimento de habilidades de investigação. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, VII, 2009, Florianópolis.

MARÍN, Y. A. O. Aprender sobre herança genética: mais de um quadro de Punnett. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, IX, 2013, Águas de Lindóia.

MARQUES, M. F. O.; MARTINS, S. S. Atividades sobre fungos: instrumentos de intervenção didática no ensino de biologia. **Revista da Associação Brasileira de Ensino de Biologia**, [S.L.], n. 7, p. 5456-5469, 2014.

MARSDEN, M. P. F.; LAEMMLI, U. K. Metaphase chromosome structure: Evidence for a radial loop model. **Cell**, [S.L.], v. 17, n. 4, p. 849-858, 1979.

MARTINEZ, E. R. M.; FUJIHARA, R. T.; MARTINS, C. Show da genética: um jogo interativo para o ensino de genética. **Genética na Escola**, [S.L.], v. 3, n. 2, p. 24-27, 2008.

MCGHEE, J. D.; FELSENFELD, G. Nucleosome structure. **Annual Review of Biochemistry**, [S.L.], v. 49, p. 1115-1156, 1980.

MCGHEE, J. D.; NICKOL, J. M.; FELSENFELD, G.; RAU, D. C. Higher order structure of chromatin: orientation of nucleosomes within the 30 nm chromatin solenoid is independent of species and spacer length. **Cell**, [S.L.], v. 33, n. 3. P. 831- 841, 1983.

MORAES, C. W.; SANTORI, R. T.; DORVILLÉ, L. F. M. Modelos didáticos e a compreensão de conceitos biológicos associados à adaptação e seleção natural. In: SANTORI, R. T.; SANTOS, M. G.; SANTOS, M. C. F. **Da célula ao ambiente: propostas para o ensino de Ciências e Biologia**. Rio de Janeiro: UERJ/FFP, 2017. p. 147-163.

MOUL, R. A. T. M.; SILVA, F. C. L. O ensino de síntese proteica sob uma perspectiva inovadora. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, X, 2015, Águas de Lindóia.

NORATO, A. G. F.; RÉZIO, A. T.; SANTOS, G. S.; VIEIRA, I. L. B. F.; GUIMARÃES, S. S. M.; GOLDSCHMIDT, A. I. Sinalizando possibilidades no ensino de Genética: Avaliação de uma proposta prática utilizando a abordagem histórica. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, XI, 2017, Florianópolis.

OLIVEIRA, A. M. V.; ALVES, E. D.; SILVA, H. D. A.; BASTOS, R. N. S.; CAVALCANTE, C. C.; SILVA, R. R.; SILVA, F. R. F. Produção de material didático para o ensino de biologia: uma estratégia desenvolvida pelo PIBID/BIOLOGIA/FECLI. **Revista da Associação Brasileira de Ensino de Biologia**, [S.L.], n. 7, p. 682-691, 2014.

OLIVEIRA, P. A. R. G. T.; COSMANN, N. J.; SCHULZ, D. G. O “lixo” nosso de cada dia sendo transformado em material didático de biologia: relato de experiência do IFPR campus Assis Chateaubriand. **Revista da Associação Brasileira de Ensino de Biologia**, [S.L.], n. 9, p. 5892-5902, 2016.

OLIVEIRA, O. B.; TRIVELATO, S. L. F. Prática docente: o que pensam os professores de ciências biológicas em formação?. In: ENCONTRO NACIONAL DE DIDÁTICA E PRÁTICA DE ENSINO, XIII, 2006, Rio de Janeiro.

OLMO, F. J. V.; MARINATO, C. S.; GADIOLI, A. O.; DA SILVA, R. V. Construção de modelo didático para o Ensino de Biologia: meiose e variabilidade genética. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.10, n.18, p. 3569 – 3575, 2014.

ORLANDO, T. C.; LIMA, A. R.; SILVA, A. M.; FUZISSAKI, C. N.; RAMOS, C. L.; MACHADO, D.; FERNANDES, F. F.; LORENZI, J. C. C.; LIMA, M. A.; GARDIM, S.; BARBOSA, V. C.; TRÉZ, T. A. Planejamento, montagem e aplicação de modelos didáticos para abordagem de biologia celular e molecular no ensino médio por graduandos de ciências biológicas. **Revista Brasileira de Ensino de Bioquímica e Biologia Molecular**, [S.L.], n. 1, 2009.

PAIS, L. C. Uma análise do significado da utilização de recursos didáticos no ensino da geometria. In: REUNIÃO DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PÓS-

GRADUAÇÃO E PESQUISA EM EDUCAÇÃO, 23ª reunião anual, 2000, Caxambu.

PAULSON, J. R.; LAEMMLI, U. K. The structure of histone-depleted metaphase chromosomes. **Cell**, [S.L.], v. 12, n. 3, p. 817-828, 1977.

PAZ, A. M.; ABEGG, I.; ALVES FILHO, J. P.; OLIVEIRA, V. L. B. Modelos e modelizações no ensino: um estudo da cadeia alimentar. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, [S.L.], v. 8, n.2, p. 133-146, 2006.

PEDREIRA, M. M.; OLIVEIRA, S. F.; KLAUTAU-GUIMARÃES, M. N. Elaboração de tirinhas de história em quadrinhos sobre o conceito de gene por estudantes de Ensino Superior. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, X, 2015, Águas de Lindóia.

PEREIRA, A. J.; PATRICIO, G. S.; ALVES, F. G. S.; GONÇALVES, J. J. S.; MATOSO, J. R. Modelos didáticos de DNA, RNA, ribossomos e processos moleculares para o ensino de genética do ensino médio. **Revista da Associação Brasileira de Ensino de Biologia**, [S.L.], n. 7, p. 564-571, 2014.

PESSANHA, M. A prática baseada em design: um modelo de ação reflexiva na formação de professores de ciências. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, XI, 2017, Florianópolis.

PIAGET, J. **Desenvolvimento e aprendizagem**. Tradução de: SLOMP, P. F. Original incluído no livro de: LAVATTELLY, C. S. e STENDLER, F. Reading in child behavior and development. New York: Hartcourt Brace Janovich, 1972. Reimpressão das páginas 7-19 de: RIPPLE R. e ROCKCASTLE, V. Piaget rediscovered. Cornell University, 1964

PINHEIRO, T. de F.; PIETROCOLA, M.; ALVES FILHO, J. Modelização de variáveis: uma maneira de caracterizar o papel estruturador da Matemática no conhecimento científico. In: PIETROCOLA, Maurício (Org.). Ensino de Física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora. Florianópolis: UFSC, 2001. p. 33-52.

QUINTO, T.; FERRACIOLI, L. Modelos e modelagem no contexto do ensino de ciências no Brasil: uma revisão de literatura de 1996-2006. **Revista Didática Sistêmica**, [S.L.], v. 8, p. 80-100, 2008.

REIS, I. A.; NASCIMENTO, G. S. V.; GUIMARÃES, D. M.; BEZERRA, G. L. S.; NASCIMENTO, S. B. M.; ALENCAR, I. C. C.; AMADO, M. V. O ensino de Biologia sob uma perspectiva CTSA: análise de uma proposta pedagógica de uso de modelos didáticos da divisão celular. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, IX, 2013, Águas de Lindóia.

REIS, V.P.G.S.; SEPULVEDA, C.A.S.; EL-HANI, C. N. Um modelo de perfil conceitual de herança biológica. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, XI, 2017, Florianópolis.

RUA, M. B.; SILVA, L. L.; BOMFIM, A. M. Biomas no Ensino de Ciências: uma abordagem através da Educação Ambiental Crítica e Modelo de Investigação na Escola. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, XI, 2017, Florianópolis.

SAITOH, Y.; LAEMMLI, U. K. Metaphase chromosome structure: Bands arise from a differential folding path of the highly AT-rich scaffold. **Cell**, [S.L.], v. 76, n. 4, p. 609-622, 1994.

SANTOS, L. A. **Elaboração de unidades didáticas como estratégia central para a compreensão dos modelos científicos**: uma proposta baseada em Vigotski para o estudo do movimento. 239 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física – Área de concentração: Física na Educação Básica), Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2016.

SCHNEIDER, E.M.; CARVALHO, G.S.; CORAZZA, M.J. Concepções de estudantes do ensino superior acerca da eugenia. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, XI, 2017, Florianópolis.

SENZIZANCUL, M. Laboratório de ensino de ciências do núcleo de educação científica da Universidade de Brasília (UnB): idealização, organização e atividades realizadas. **Revista da Associação Brasileira de Ensino de Biologia**, [S.L.], n. 7, p. 5585-5593, 2014.

SERPA, J. D. M.; RAMOS, F. Z. Proposta de uma sequência didática para a compreensão das características evolutivas dos filos zoológicos. **Revista da Associação Brasileira de Ensino de Biologia**, [S.L.], n. 9, p. 4029-4037, 2016.

SILVA, A. P. Z.; PEREIRA, H. M. R.; BIZZO, N. M. V. História da ciência e ensino da genética: uma análise dos anais dos VII E VIII Encontros Nacionais do Ensino de Ciências. **Revista da Associação Brasileira de Ensino de Biologia**, [S.L.], n. 7, p. 517-529, 2014.

SILVEIRA, D. T.; CÓRDOVA, F. P. Unidade 2 – Pesquisa científica. In: GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de pesquisa**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009. p. 31-42.

SNUSTAD, D. P.; SIMMONS, M. J. **Fundamentos de Genética**. 4ª Edição. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008.

SOUSA, E. S.; MACHADO, C. R. S.; CONTENTE, M. P.; PACHECO, R. C.; MARTINS, D. R.; MACHADO, C. R. S. O ensino do fluxo de informação gênica mediado por modelos didáticos: do DNA à proteína. **Revista da Associação Brasileira de Ensino de Biologia**, [S.L.], n. 9, p. 3876-3885, 2016.

SOUTO, U. R.; SANTOS, J. R.; BORGES, A. A. Proposta de modelo da dupla hélice do DNA em um contexto histórico. **Revista da Associação Brasileira de Ensino de Biologia**, [S.L.], n. 9, p. 1482-1491, 2016.

SOUZA, S. E. O uso de recursos didáticos no ensino escolar. **ArqMudi**, [S.L.], v. 11 (Supl.2), p. 110-114, 2007.

TAVARES, P. V. N.; OLIVEIRA, C. S.; BEIRAL, H. J. V. O jogo “é divertido comer”. **Revista da Associação Brasileira de Ensino de Biologia**, [S.L.], n. 9, p. 5935-5945, 2016.

TRAZZI, P. S. S.; CALHAU, M.; SILVA JÚNIOR, R. A.; PAGEL, U.; FERRACIOLI, L. Análise do Potencial Pedagógico da Exposição Revolução Genômica como espaço não formal de ensino de biologia. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, IX, 2013, Águas de Lindóia.

WEI-HAAS, M. Testes de DNA são capazes de reunir famílias de imigrantes? Entenda os fatos. **National Geographic**. Disponível em: <<https://www.nationalgeographicbrasil.com/cultura/2018/06/testes-de-dna-sao-capazes-de-reunir-familias-de-imigrantes-refugiados-mexico-estados-unidos- crise-fronteira-muro>>. Acesso em: 25 out. 2018.

WIDOM, J. Toward a unified model of chromatin folding. **Annual Review of Biophysics and Biophysical Chemistry**, [S.L.], v. 18, p. 365-395, 1989.

WIDOM, J. Structure, dynamics, and function of chromatin in vitro. **Annu. Rev. Biophys. Biomol. Struct.**, [S.L.], v. 27, p. 285-327, 1998.

WIDOM, J.; KLUG, A. Structure of the 300A chromatin filament: X-ray diffraction from oriented samples. **Cell**, [S.L.], v. 43, n. 1, p. 207-213, 1985.

WOODCOCK, C. L. F.; FRADO, L.-L. Y.; RATTNER, J. B. The higher-order structure of chromatin: evidence for a helical ribbon arrangement. **J Cell Biol.**, [S.L.], v. 99, p. 42-52, 1984.

WU, H. K., & HSIEB, C. E. Developing Sixth Graders' Inquiry Skills to Construct Explanations in Inquiry-based Learning Environments. **International Journal of Science Education**, [S.L.], v. 28, n. 11, p. 1289-1313, 2006.

ANEXO I - GENE MISTERIOSO ESTÁ AUSENTE NA MAIORIA DOS MAMÍFEROS MARINHOS

De forma alarmante, a adaptação pode estar deixando esses animais mais vulneráveis aos agrotóxicos que deságuam no mar.

Por Nadia Drake, National Geographic Brasil, 21 ago. 2018.

Milhões de anos atrás, os mamíferos antigos que habitavam a terra retornaram para o mar. Seus corpos se aperfeiçoaram para nadar, dedos articulados se transformaram em barbatanas e nadadeiras, cantos hipnóticos pouco a pouco preencheram os oceanos – e, em algum momento durante o processo de evolução, os mamíferos marinhos recém-evoluídos perderam um determinado gene chamado Paraoxonase 1, ou PON1.

Talvez aquele gene não fosse mais necessário para os organismos adaptados à vida na água; assim como a evolução aperfeiçoou os corpos aquáticos, ela pode ter aperfeiçoado genomas de forma semelhante. Mas qualquer que seja o motivo, o PON1 parou de funcionar em cada uma das três linhagens de mamíferos marinhos que conhecemos atualmente: as baleias e os golfinhos, os peixes-bois e os dugongos, e as focas e os leões-marinhos.

“O fato de ele estar tão absolutamente preservado nas espécies terrestres, e de ter sido completamente perdido na maioria, em quase todas as linhagens marinhas, é realmente surpreendente, não é?”, diz Nathan Clark, da Universidade de Pittsburgh, autor principal de um estudo que relata os resultados atualmente na revista científica *Science*. “Parece que esse gene tem uma história para contar”.

Normalmente, esta história seria intrigante o suficiente por si só. Mas, por um estranho capricho do destino, o PON1 também possibilita uma importante defesa contra uma classe de agrotóxicos particularmente desagradáveis chamados de organofosfatos. O PON1 destrói subprodutos dos agrotóxicos no plasma sanguíneo. Desta forma, os mamíferos terrestres com níveis normais de PON1 - incluindo os humanos - podem lidar com a exposição de forma eficaz.

Ainda comumente utilizados na agricultura e frequentemente lavados ao mar, os organofosfatos inibem o sistema nervoso central, causando paralisia e dano cerebral permanente. E, até agora, não há sinais de que nossos parentes

marinhos tenham desenvolvido um mecanismo alternativo ao PON1 para se defenderem dessas toxinas.

“Não é de se surpreender que aquela função tenha sido perdida, porque ela pode não ter sido útil inicialmente no ambiente marinho,” diz Gregory Bossart, do Aquário da Geórgia, que estuda a exposição à toxina em golfinhos e em outros mamíferos.

“Agora, ela será útil. Mas pode ser muito tarde”.

Um padrão de perda

Bossart está certo: o fato de vários genes terem sido alterados à medida em que os mamíferos foram migrando para um ambiente aquático não é nenhuma surpresa – é assim que a evolução acontece.

Mas Clark e seus colegas queriam identificar padrões de atividade que foram alterados simultaneamente em múltiplas linhagens à medida em que os mamíferos foram para o mar, e isso significou analisar as três maiores divisões evolutivas dos mamíferos marinhos da atualidade – os cetáceos (baleias e golfinhos), que compartilham um ancestral em comum com os hipopótamos, os sirênios (peixes-bois e dugongos), que compartilham um ancestral em comum com os elefantes, e os pinípedes (focas e leões-marinhos), que compartilham um ancestral em comum com os ursos e as doninhas.

“A evolução dos mamíferos marinhos é realmente maravilhosa justamente por isso, porque, geralmente, um dos problemas em identificar coisas que sejam adaptativas, ou que sejam realmente importantes para a função orgânica, é que normalmente não se tem réplicas,” diz Wynn Meyer, autora principal do trabalho. “Você vê um tipo de mudança estranha ocorrendo em um organismo apenas uma vez. Mas, nesse caso, é possível identificá-la diversas vezes”.

Meyer alinhou os genomas de um grupo de mamíferos marinhos e procurou padrões que indicassem uma mudança significativa da função em relação aos mamíferos terrestres – especificamente os genes que haviam sido perdidos à medida em que a evolução progrediu, indicada por variações da sequência que truncam uma proteína ou destroem sua capacidade de funcionamento. Naqueles genomas de mamíferos marinhos, Meyer e seus colegas observaram vestígios de dezenas de genes interrompidos, a maioria dos quais produzem receptores de sabor ou odor.

E, segundo Clark, é possível que estejamos testemunhando a perda da função do PON1 até mesmo agora, nas focas.

“Os cetáceos são aquáticos há muito tempo, ao passo que os pinípedes não são aquáticos há tanto tempo assim”, afirma Clark. “Portanto, pode ser que os pinípedes avancem como um grupo. Algumas destas linhagens de pinípedes serão extintas e outras se proliferarão, e eles podem se parecer com os cetáceos daqui a 10 ou 20 milhões de anos. Mas, eu não estarei por perto para verificar isso”.

Em curto prazo, Clark e seus colegas estão planejando realizar o sequenciamento de castores, ratos-almiscarados, capivaras e outras criaturas aquáticas e semiaquáticas.

“Nós precisamos de algumas espécies ou populações que tenham perdido o PON1, e de algumas que não o tenham perdido, de forma que possamos ver quais fatores ambientais diferem entre essas espécies”, diz Meyer.

O perigo da exposição

Por enquanto, ainda não está claro se os mamíferos marinhos estão sofrendo os efeitos da exposição ao organofosfato, muito embora seja certo que tais pesticidas sejam tóxicos e estejam sendo despejados em *habitats* aquáticos. Dos organofosfatos, entre os mais notórios na esfera pública está o clorpirifós, que bloqueia uma enzima chamada colinesterase e pode levar a um acúmulo tóxico do neurotransmissor acetilcolina.

Em 2000, a Agência de Proteção Ambiental proibiu o uso residencial do clorpirifós devido a fortes evidências de seus efeitos prejudiciais tanto em humanos quanto em roedores. As crianças são particularmente muito vulneráveis aos seus efeitos porque elas ainda não possuem níveis elevados de PON1, diz o autor do estudo, Clem Furlong, bioquímico da Universidade de Washington que estuda o PON1 há décadas. E camundongos com o gene PON1 removido sofreram e morreram devido aos níveis de clorpirifós que não causaram efeito sobre os camundongos normais.

“Todos os dados que temos do modelo de camundongo e com humanos indicam que o PON1 é crucial para determinar a resistência à exposição”, diz Furlong. “Os dados que sustentam isso são muito fortes”.

Uma proposta semelhante para proibir o clorpirifós na agricultura foi rejeitada pelo ex-administrador da EPA, Scott Pruitt, em 2017. Mas, hoje, um

tribunal federal ordenou à Administração Trump que proibisse o clorpirifós totalmente, alegando que a EPA não havia demonstrado que o produto químico era seguro.

Contudo, por enquanto, águas contaminadas pelo escoamento de pesticidas usados na agricultura, da Flórida à Califórnia e até à Austrália, podem conter altos níveis de agrotóxicos que os peixes-bois, os golfinhos e as baleias são naturalmente incapazes de combater – e Clark e outros pesquisadores suspeitam que isso possa ser a causa dos diversos e incomuns eventos de mortalidade que assolam o sudeste dos EUA.

Em breve, ele e seus colegas começarão a procurar sinais de toxicidade por organofosfato no sangue de peixes-bois coletado na região da Flórida, e procurar por associações com o escoamento agrícola.

“Nós não temos nenhum dado direto sobre os níveis de agrotóxicos nos peixes-bois”, diz Hunter. “Nós teremos que testá-los diretamente e comparar com animais que tenham um gene funcional para descobrir se eles correm maior risco com a exposição”.

Por enquanto, os cientistas estão trabalhando rapidamente para escrever o próximo capítulo dessa história evolutiva, muito embora ninguém esteja particularmente otimista de que os resultados possam mudar o rumo das coisas.

“Se eles não o proibiram considerando que é prejudicial às crianças”, diz Clark, “então, eu não acho que isso fará muita diferença”.

ANEXO II -O GENETICISTA ITALIANO QUE DESMONTOU O CONCEITO DE RAÇA

Luigi Luca Cavalli Sforza, autor de ‘Quem Somos? História da Diversidade Humana’, morreu no último sábado aos 96 anos em sua casa de Belluno, no norte da Itália.

Por Luca Tancredi Barone, El País, 4 set. 2018.

“O racismo é um antigo flagelo da humanidade.” Esta frase foi pronunciada pelo geneticista italiano Luigi Luca Cavalli Sforza, junto a sua companheira Mary-Claire King, geneticista norte-americana, diante de um comitê do Senado dos EUA em 17 de fevereiro de 1993. Não poderia sintetizar melhor o legado desse grande cientista que morreu no sábado, aos 96 anos, na sua casa de Belluno, no norte da Itália.

Cavalli Sforza, que todos chamavam simplesmente de Luca, nasceu em Gênova, em 1922. Estudou Medicina, primeiro em Turim e depois em Pavia, quando seu professor de anatomia Giuseppe Levi – que também teve como alunos os ganhadores do Nobel Rita Levi Montalcini, Salvador Luria e Renato Dulbecco – foi expulso da universidade em decorrência das leis raciais aprovadas pelo regime fascista em 1939. Graduiu-se em 1944 e, entretanto, não era a medicina sua verdadeira paixão. Já tinha começado a trabalhar nas relações sexuais das bactérias antes de se formar, mas foi a mosca da fruta, a famosa *Drosophila*, que lhe abriu o caminho para sua verdadeira paixão: a genética.

Não foi fácil trabalhar naqueles anos – entre 1943 e 1945 a Itália travava não só uma guerra mundial, mas também uma sangrenta guerra civil –, mas Cavalli Sforza teve a sorte de encontrar Adriano BuzzatiTraverso, que anos mais tarde se tornaria o primeiro professor de genética da Itália. Começou a viajar entre a Itália, Reino Unido, Alemanha e EUA, onde, em Stanford, em 1970, acabou recebendo a oferta para ocupar uma cátedra, que manteve por mais de 40 anos, ainda sem perder seus contatos científicos e humanos com o velho continente.

O poliédrico Cavalli Sforza entendeu desde os primeiros anos da sua carreira que a multidisciplinaridade seria a chave para fazer avanços significativos na pesquisa. Consciente de seus limites, percebeu em seguida que precisava aprender matemática, e mais especificamente estatística, disciplina que foi estudar na Inglaterra com o mais importante desse campo naquela época, Ronald Fisher. E essa foi uma das decisões mais acertadas da sua vida, já que o campo do qual seria pioneiro, a genética populacional, se baseia fundamentalmente em ferramentas estatísticas.

Foi realmente quando deixou de pensar nas moscas e se voltou para os humanos. Começava então uma incrível odisseia – ele teria gostado dessa expressão, pois Ulisses era um de seus personagens clássicos preferidos – que o levaria a construir o primeiro atlas genético da humanidade.

Começou estudando quais fatores determinavam a diferente distribuição dos grupos sanguíneos entre as diversas populações humanas – entre as quais estudou especialmente os bascos, que têm uma incidência do Rh negativo de 25%, a mais alta do mundo – para depois estudar o cromossomo Y, o pedacinho de cromossomo comum a todos os homens biológicos. Graças a esse conhecimento, foi capaz pela primeira vez de corroborar do ponto de vista genético a teoria paleontológica conhecida como *Out of Africa*: o DNA confirmava que os primeiros hominídeos deixaram o continente africano há 100.000 anos para colonizar o resto do planeta. Para reconstruir o passado, portanto, era necessário recorrer à genética. Cavalli Sforza chegou a esse extraordinário resultado muito antes de o primeiro genoma humano ser sequenciado.

Foi uma verdadeira revolução. A genética das populações era capaz de produzir uma “árvore genealógica” da humanidade capaz de contar nossa história. O pai de Cavalli Sforza tentou que seu filho se apaixonasse pela astronomia. Não conseguiu, mas, assim como os astrônomos são capazes de olhar para o passado distante quando observam estrelas e galáxias, hoje os geneticistas podem detectar rastros de acontecimentos remotos dentro de nossos genomas.

E não só isso. Em seu famoso ensaio *Genes, Povos e Línguas* (1996) onde se vale até da demografia, desenha um paralelismo entre as linhas filogenéticas das populações mundiais, a linguística e a arqueologia, para acabar reconhecendo que as três disciplinas contam a mesma história. É um “atlas

genético” que fala de homens e mulheres migrantes desde sempre, e que se miscigenam entre si. Um espinho na garganta para compatriotas dele como o xenófobo ministro Salvini.

Em suas pesquisas e em cerca de 300 artigos científicos, Cavalli Sforza chega a uma conclusão que o obcecava desde que precisou enfrentar o racismo que levou à expulsão do seu professor e que ele próprio sofreu como italiano no começo da sua carreira nos países anglo-saxões: as “raças” não existem, ou melhor, existem só na cabeça dos racistas. Nos anos em que estava sendo forjado nos EUA o Projeto Genoma Humano, ele lidera o Projeto Diversidade do Genoma Humano, que foi o que apresentou ao Senado daquele país em 1993: estudando genomas das populações mais remotas da Terra, conseguiu demonstrar que os seres humanos são bastante homogêneos geneticamente, que “os grupos que formam a população humana não são nitidamente separados; em vez disso, constituem um *continuum*. As diferenças nos genes dentro dos grupos que têm algumas características físicas visíveis comuns são virtualmente idênticas às diferenças entre vários grupos, e, além disso, as diferenças entre indivíduos são mais importantes que as observadas entre grupos raciais”, como escreve em *Quem Somos? História da Diversidade Humana* (1995, lançado em 2002 no Brasil).

Em outro escrito, quando recebeu o prêmio Balzan em 1999, dizia que “embora a população humana possua uma enorme variabilidade genética entre indivíduos, 85% do total da variação ocorre dentro de cada uma das populações, e só 15% as separa. Portanto, não podemos utilizar para a comparação das diferentes populações humanas a mesma medida de distância genética útil para comparar as espécies vivas, para as quais é suficiente um indivíduo de cada espécie”. Em outras palavras, por mais que seja geneticamente e até intuitivamente fácil distinguir as características de duas populações em dois continentes diferentes, não é tão simples fazer isso com dois indivíduos, como pode acontecer com dois cães. Em uma entrevista ao EL PAÍS em 1993, ele foi taxativo: “Podemos falar de população basca, mas nunca de indivíduos de raça basca. As diferenças genéticas não justificam, nem nesse nem em nenhum outro caso, o conceito de raça, e muito menos o racismo”.

Em sua reflexão, adquire muita mais relevância a cultura como motor para justificar as diferenças entre as populações humanas. E à interação entre

genética e cultura ele dedica muitos escritos (aqui e aqui, por exemplo) explicando que os poucos anos (evolutivamente falando) que a humanidade teve para evoluir desde quando um pequeno grupo de hominídeos deixou a África não seriam suficientes para a evolução de raças diferentes, excetuando-se pequenas diferenças. Entretanto, a cultura – que, ao contrário dos genes, pode ser transmitida também horizontalmente entre indivíduos, e não só verticalmente, de pais para filhos – permite explicar muito mais as inovações e as diferenças.

A divulgação de suas ideias era muito importante para Cavalli Sforza. É o que contava em outra entrevista ao EL PAÍS, em 1998: “Com um pouco mais de tempo, definindo o absolutamente necessário e reduzindo o número de termos científicos ao mínimo necessário, é possível explicar a ciência a todos”. Mas não era um iludido. Também escrevia em *Quem Somos?*: “Pensamos que a ciência é objetiva. A ciência é modelada pela sociedade porque é uma atividade humana produtiva, que exige tempo e dinheiro, pois está guiada e dirigida por essas forças que exercem no mundo o controle sobre o dinheiro e sobre o tempo. As forças sociais e econômicas determinam em grande medida o que a ciência faz e como faz”.

ANEXO III - POR QUE AINDA NÃO SE USA A MODIFICAÇÃO GENÉTICA PARA ELIMINAR DOENÇAS?

Ainda não temos os conhecimentos para fazê-lo de maneira suficientemente eficaz e segura.

Por Susana Balcells Comas, El País, 11 jul. 2018.

Não usamos a edição genética para eliminar doenças em humanos porque ainda não sabemos fazê-lo suficientemente bem. Para fazer essas modificações genéticas a que você se refere, ou seja, que as pessoas possam ir a sua consulta de reprodução assistida e pedir para que façam uma intervenção genética para ter filhos sem doenças, ainda não temos os conhecimentos pra fazê-lo de maneira suficientemente eficaz e suficientemente segura.

O que não quer dizer que não exista interesse, também entre os cientistas. Acabo de voltar do Congresso Europeu de Genética Humana e o debate está colocado. E não só há interesse, também se está trabalhando nisso, a modificação da linha germinal dos embriões está sendo pesquisada. A linha germinal em genética é aquela transmitida aos descendentes. Ou seja, as modificações feitas aí não só afetam a pessoa em que são feitas como todos os seus descendentes as herdarão. Na comunidade científica há consenso sobre essas pesquisas. Por enquanto só isso, pesquisa. Ainda que, claro, em cada país a sua maneira e de acordo com suas leis. Em geral, a China é onde estão sendo feitas mais coisas nesse campo. A razão é que suas leis são mais permissivas porque suas preocupações éticas em relação a essas questões são menores do que as que existem no Ocidente. De modo que acredito que lá é o local onde serão feitas inicialmente.

Mas no Ocidente também se pesquisa. Por exemplo, nos Estados Unidos cujas leis impedem a realização de pesquisas sobre modificação genética da linha germinal com recursos públicos, há uma forte contestação no mundo científico para acabar com essa proibição. E há pouco mais de um ano, em fevereiro de 2017, a Academia Nacional de Ciências e a Academia Nacional de Medicina desse país publicaram um relatório em que defendiam a

conveniência de se utilizar técnicas de edição genética sobre a linha germinal cujo propósito é exatamente acabar com algumas doenças.

Dessa forma, mesmo que ainda não seja possível, será em algum momento, provavelmente dentro de poucos anos. E aqui é essencial o que significou a técnica CRISPR à genética. Essa técnica é um método que serve para intervir no DNA que é onde se armazena toda a informação biológica herdada. O CRISPR permite acrescentar, modificar e interromper sequências genéticas com enorme precisão e de uma maneira muito simples. Começou a ser utilizado em 2013 e desde então é o protagonista de uma autêntica revolução. Mas sua utilização ainda não é perfeita.

O lógico é que as primeiras doenças que se consiga eliminar mediante edição genética sejam transtornos muito graves, que costumam ser doenças raras, como as autoimunes e as que conhecemos como as das crianças-bolha, etc... e que também foram as primeiras abordadas a partir da terapia genética. Em pesquisa sobre correção somática, por exemplo, ocorrem muitos avanços com talassemias e hemofilia. E é muito provável que entre essas primeiras afecções erradicadas também estejam os cânceres hereditários.

Mas há uma questão ligada à edição genética que separa completamente a realidade dos desejos das pessoas. Quando são feitas pesquisas públicas sobre se deve ser usada para erradicar doenças e para melhorar a espécie humana há uma grande parte da população que não tem nenhum problema em que seja usada para esse último fim, ou seja, para nos fazer mais altos, mais magros e com melhores músculos... E, entretanto, essa é uma possibilidade em que a comunidade científica não está trabalhando, nem mesmo como possibilidade.

E também é preciso levar em consideração outra questão: por mais que a edição genética avance, por mais conquistas que consigamos no momento de vencer definitivamente as doenças que conhecemos é inimaginável um mundo totalmente livre delas. Se a genética nos ensinou alguma coisa é que a biologia é mutação e as mutações ocorrem continuamente. Essas mudanças genéticas podem ser benéficas, mas também prejudiciais. Continuamente aparecem vírus novos e vírus velhos que mudaram. Como geneticista, acredito que é impossível um mundo sem doenças.

ANEXO IV - TESTES DE DNA SÃO CAPAZES DE REUNIR FAMÍLIAS DE IMIGRANTES? ENTENDA OS FATOS.

O teste genético oferece uma potencial solução para a crise, mas as preocupações com logística e privacidade ainda representam grandes desafios.

Por Maya Wei-Haas, National Geographic Brasil, 29 jun. 2018.

Mais de 2 mil crianças imigrantes – algumas ainda engatinhando – foram separadas de suas famílias e agora estão espalhadas por abrigos em pelo menos 16 estados nos Estados Unidos. Sem um final claro para a crise, algumas empresas comerciais de teste de DNA estão se oferecendo para ajudar.

A MyHeritage ofereceu 5 mil kits de teste como extensão de sua iniciativa voluntária e sem remuneração para juntar crianças adotáveis a suas famílias biológicas. E a 23andMe iniciou sua campanha depois de ser incitada pela representante da Califórnia, Jackie Speier.

Os anúncios foram imediatamente recebidos com preocupação por parte dos bioéticos e advogados.

“Acho que devemos ser muito cautelosos diante de quaisquer propostas que visem criar um banco de dados de DNA, mesmo que as intenções sejam boas”, diz Elizabeth Joh, professora de direito na Universidade da Califórnia, em Davis.

As perguntas são abundantes – da privacidade e da logística até se tais testes são mesmo necessários para a reunificação. Conversamos com especialistas da área para esclarecer como seria tal esforço e para descrever os prós e contras.

Como funciona a correspondência de DNA?

Sua impressão digital genética é uma mistura de DNA da sua mãe e pai biológicos. Isso significa que cada gene em seu corpo vem de um dos seus pais.

Para auxiliar famílias migrantes, pais e filhos forneceriam amostras de seu material genético. Para testes da 23andMe, isso exigiria cuspir em um tubo; os kits da MyHeritage usam um cotonete por dentro da bochecha. As empresas, então, examinam cerca de 700 mil dentre as 3 bilhões de unidades básicas de

material genético que compõem o genoma humano, explica Miguel Vilar, cientista chefe do Projeto Genográfico da National Geographic.

Para os testes de ancestralidade padrão que essas empresas realizam, elas examinam os genes de um indivíduo para identificar a frequência de marcadores específicos em seu DNA que indicam correspondências com vários grupos étnicos. No entanto, esses resultados não são verificados independentemente antes da entrega, nem as empresas entraram num acordo quanto aos padrões para a realização de testes de ancestralidade, diz Sheldon Krimsky, professor da Universidade Tufts e autor de *Genetic Justice: DNA Data Banks, Criminal Investigations & Civil Liberties*, em uma entrevista para a *TuftsNow*. Como muitos relatórios mostraram, diferentes empresas encontram resultados distintos.

Mas, ao contrário dos testes de ancestralidade, a identificação de relações diretas pode ser feita com um grau bastante alto de precisão, e a correspondência pode ser concluída de várias maneiras diferentes. O método mais provável é comparar diretamente o DNA de cada indivíduo. Os resultados podem ser carregados para um banco de dados que procura por semelhanças extensas na sopa de letrinhas. Quando o teste encontra uma correspondência, a mãe ou o pai podem ser contatados para uma reunião muito atrasada.

Esses testes têm aproximadamente 99,9% de precisão para amostras de relações diretas e cuidadosamente coletadas, diz Vilar: “Eu acho que a ciência seria factível”.

Mas a situação, diz ele, é muito mais complexa.

Quais são as questões que envolvem privacidade e consentimento?

Uma das primeiras questões do teste é o consentimento. Para menores de idade, as regras de privacidade médica podem impedir a amostragem, a menos que cada criança tenha uma guarda ou responsável legal, o que é obviamente problemático neste caso. E para os adultos, mesmo que eles deem seu consentimento, ele seria, na realidade, concedido sob coação, uma vez que eles estão atualmente detidos, diz Ada Hamosh, diretora-clínica do Instituto McKusick-Nathan de Medicina Genética da Universidade Johns Hopkins.

Depois, existe a questão de ajudar as famílias a entender a magnitude dessa entrega de seu DNA.

“As pessoas a quem está sendo oferecido este serviço, em grande parte, não falam inglês, e muitas delas – assim como o público em geral da maioria dos Estados Unidos – não têm instrução para entender exatamente o que é o teste”, diz Debra Mathews, professora associada do Instituto Berman de Bioética da Johns Hopkins.

Sob a lei atual, uma vez que os dados genéticos são carregados para um banco de dados da empresa, a polícia pode ter acesso a essas informações através dos tribunais.

“Se um órgão de aplicação de lei tiver uma ordem judicial válida ou uma intimação, eles poderão obter acesso”, diz Mathews. E conforme mostrou o recente rastreamento genético do Golden State Killer, a liberação acidental ou intencional de sua composição genética pode colocar você e seus parentes à mercê de investigações criminais.

“Seu DNA não pertence exclusivamente a você”, ela diz. “Você o compartilha com todos os seus parentes genéticos, em diferentes graus”.

Para ser claro, esse caso em particular foi desvendado usando um banco de dados genético disponível ao público, o GEDmatch – ao passo que tanto a 23andMe como a MyHeritage têm bancos de dados privados. E, em defesa das empresas, tanto a 23andMe como a MyHeritage estão trabalhando para atender à necessidade de proteção de privacidade.

A 23andMe planeja oferecer seus serviços “por meio de organizações de assistência jurídica sem fins lucrativos que representam essas famílias”, eles escreveram em uma declaração por e-mail à National Geographic. “Estamos todos cientes de que os dados genéticos contêm informações muitíssimo pessoais e queremos garantir que sejam tratados confidencialmente e com o consentimento de toda pessoa testada”. Eles observam que os representantes legais podem garantir que os dados sejam usados somente para a reunificação de famílias, acrescentando ainda no Twitter que eles entraram em contato com a organização sem fins lucrativos RAICES Texas para ajudar nos esforços.

“Eu acho que, claramente, existem muitos pontos sensíveis envolvidos em algo assim”, diz Rafi Mendelsohn, porta-voz da MyHeritage. Sendo assim, ele diz, o serviço ao cliente da empresa estará disponível em 42 idiomas para dar suporte aos esforços de reunificação.

Embora a MyHeritage esteja interessada em trabalhar com “organizações relevantes”, diz Mendelsohn, o processo para famílias migrantes provavelmente será semelhante ao prestado a seus demais clientes: os dados serão carregados para o banco de dados da MyHeritage, e as amostras de saliva serão armazenadas.

“O DNA é de propriedade do usuário, e eles têm controle total sobre o que acontece com ele”, diz Mendelsohn. A empresa não vende ou compartilha essas informações genéticas, ele diz, e as famílias podem pedir para que suas amostras de saliva e seus dados sejam destruídos.

Ainda assim, continua sendo grande a necessidade de salvaguardas suplementares para essas famílias vulneráveis, disse Krinsky à *National Geographic*. Ele aconselha que sejam feitos todos os esforços necessários para a construção de bancos de dados para as famílias, incluindo “considerações de privacidade muito rigorosas, que vão muito além do que as empresas publicam em seus memorandos de privacidade”.

E a logística?

Além das preocupações com a privacidade, a logística básica da iniciativa é extremamente complexa, diz Krinsky.

“Este é um empreendimento enorme. Você teria que ter perfis de DNA de todos os adultos, perfis de DNA de todas as crianças, e você teria que fazer comparações muito cuidadosas”, ele diz.

E, a menos que as empresas possam passar todas essas amostras para o início da fila, diz Vilar do Projeto Genográfico, o processamento pode levar semanas. Atualmente, a equipe do Genográfico não tem planos de investir na iniciativa. Vilar reconhece a importância de reunir as famílias, mas ele diz que a logística é muito complicada com o número limitado de funcionários do Genográfico.

Ter várias empresas tentando dar uma mão também pode representar um desafio. As empresas de kits de DNA geralmente sequenciam seções de genes ligeiramente diferentes, o que poderia adicionar um pouco de incerteza aos resultados. “Talvez não fosse como comparar alhos a bugalhos”, diz Vilar. “Mas seria como comparar um dente de alho a um dente da boca.” (Veja aqui porque irmãos podem obter resultados diferentes em um teste de DNA.)

Ainda mais desafiador é fundir dois bancos de dados em um. Todos os empenhos estão em seus estágios iniciais, então não está claro como as informações podem ser compartilhadas, explica Mendelsohn, da MyHeritage. “Não sei se seria justo da minha parte dizer qualquer coisa agora”, ele diz.

Mas todo esse trabalho meticuloso leva tempo – algo de que essas famílias não dispõem.

“Cada dia à parte provoca danos traumáticos, potencialmente permanentes, a essas crianças”, diz Hamosh.

O teste genético é necessário?

Mesmo que as famílias sejam juntadas usando seu DNA, os testes podem ter consequências inesperadas. Por um lado, diz Hamosh, há o quase inevitável caso de algumas crianças descobrirem que não são biologicamente relacionadas a um pai que as criou. Isso se confirma em 1% a 10% dos testes pré-natais realizados nos Estados Unidos.

“Não há motivo para se fazer isso com as crianças, os pais ou a mãe”, diz Hamosh. (As crianças refugiadas na Grécia estão atualmente enfrentando uma crise de saúde mental).

Às vezes, são necessários testes genéticos para reunir as famílias. Na década de 1990, Krimsky foi presidente de um comitê da Associação Americana para o Avanço da Ciência que montou uma equipe de geneticistas forenses para ajudar as Avós da Plaza de Mayo. Esta organização localizava crianças que haviam sido sequestradas durante a ditadura militar argentina, que governou entre 1976 e 1983, e combinava-as aos avós. Nesse caso, diz ele, o DNA foi necessário para reunir membros da família há muito separados, alguns dos quais nasceram de mães presas e nunca conheceram seus parentes.

Na situação atual, ele diz, “não está claro para mim que a necessidade exista”. Muitas crianças devem ter idade suficiente para dizer os nomes de seus pais, desde que haja registros suficientes do paradeiro da família. Atualmente, no entanto, o processo do governo para reunir crianças e pais é caótico, e para as crianças mais jovens tiradas de seus pais, o DNA pode ser a única opção.

Nesse caso, “teria que haver diretrizes bem pensadas para proteger essa população incrivelmente vulnerável em uma situação incrivelmente vulnerável”, diz Mathews. “Não existem outras populações em condições mais vulneráveis do que essa neste momento”.