

IMAGENS DE AUTORADIOGRAFIAS DOS GEIS DE AGAROSE SIMULANDO DIAGNÓSTICOS CLÍNICO-MOLECULARES QUE PODEM SER APLICADOS EM FORMA DE UM MODELO DIDÁTICO PARA CONTEXTUALIZAR A INFLUÊNCIA GENÉTICA NOS FENÓTIPOS DA VISÃO

Mauro Osvaldo Medeiros¹
Sueli Maria Alves¹
Marcelo Teiji Kimura²

RESUMO: Um dos maiores desafios enfrentados pelos professores de biologia é a dificuldade de relacionar os conteúdos com temas que atraiam a atenção dos alunos. Os avanços e mudanças no cenário social e tecnológico necessitam que os professores de biologia atualizem constantemente os seus métodos de ensino. Assim, este trabalho teve como objetivo criar subsídios para a fixação de conceitos teóricos e práticos de Genética relacionados a Biologia Molecular e de interesse da sociedade, destacando resultados de autorradiografias da reação em cadeia da polimerase (PCR) seguida de eletroforese em gel de agarose no diagnóstico clínico-molecular e sua importância para a identificação de classes genotípicas relacionadas aos fenótipos da visão. Para tal, foi aplicada uma atividade que consistiu numa simulação prática de uma análise genética para identificação molecular relacionada a autorradiografias que simulavam resultados de eletroforese em gel de agarose para a identificação de classes genotípicas relativas aos fenótipos da visão normal e miopia. Concluiu-se que são vários os benefícios alcançados pela utilização da representação didática abordando o conteúdo sobre herança genética utilizando as imagens das autorradiografias do gel como parte experimental da investigação do exame em DNA. Ficou também evidenciado que existem três possibilidades em relação a constituição genotípica que é herdada de forma mendeliana por esses indivíduos, ou seja, sempre estão presentes no DNA: MM, Mm e mm. Portanto, indivíduos com dois alelos M, genótipo MM ou um alelo M, genótipo Mm, apresentavam o fenótipo de visão normal, enquanto os com dois alelos m (mm) apresentavam o fenótipo de miopia. E de modo geral, sendo possível reconhecer que o heterozigoto “Mm” não tem anormalidade visual, mas, está relacionado ao risco de estes gerarem crianças com a forma homocigota “mm”, e assim terem a alteração visual, tornando-se importante neste contexto o aconselhamento genético. Também foi constatado que esse tipo de recurso didático contribuiu de forma significativa no processo de ensino e aprendizagem, tornando o ensino de genética mais motivador e dinâmico, atraindo ainda mais a curiosidade e tornando os alunos mais presentes e participativos nas salas de aula.

Palavras-chave: Modelos didáticos; Genética; Biologia molecular; Miopia; Aprendizagem significativa.

IMAGES OF AGAROSE GELS AUTHORADIOGRAPHS SIMULATING CLINICAL-MOLECULAR DIAGNOSIS THAT CAN BE APPLIED IN THE FORM OF A DIDACTIC MODEL TO CONTEXTUALIZE THE GENETIC INFLUENCE ON VISION PHENOTYPES

ABSTRACT: One of the biggest challenges faced by biology teachers is the difficulty in relating content to themes that attract students' attention. Advances and changes in the social and technological scenario require biology teachers to constantly update their teaching methods. Thus, this work aimed to create subsidies for the establishment of theoretical and practical concepts of Genetics related to Molecular Biology and of interest to society, highlighting results of autoradiography of the polymerase chain reaction (PCR) followed by electrophoresis in agarose gel in the clinical-molecular diagnosis and its importance for identifying genotypic classes related to vision phenotypes. To this end, an activity was applied that consisted of a practical simulation of a genetic analysis for molecular identification related to autoradiographs that simulated agarose gel electrophoresis results for the identification of genotypic classes related to the phenotypes of normal vision and myopia. It was concluded that there are several benefits achieved by using didactic representation addressing the content on

¹ Professor Associado do Dep. Biologia ICEN/CUR/UFMT: mauroosvaldo@bol.com.br; sumalves@yahoo.com.br;

² Biólogo/UFMT/CUR/UFMT - Rondonópolis, MT., marcelokimura99@gmail.com,

genetic disease using images from gel autoradiographs as an experimental part of the DNA test investigation. It was also evident that there are three possibilities in relation to the genotypic constitution that is inherited in a Mendelian manner by these individuals, that is, they are always present in the DNA: MM, Mm and mm. Therefore, individuals with two M alleles, genotype MM or one M allele, genotype Mm, presented the normal vision phenotype, while those with two m alleles (mm) presented the myopia phenotype. And in general, it is possible to recognize that the heterozygous “Mm” does not have a visual abnormality, but it is related to the risk of them generating children with the homozygous “mm” form, and thus having visual alterations, making it important in this context to genetic counseling. It was also found that this type of teaching resource contributed significantly to the teaching and learning process, making genetics teaching more motivating and dynamic, attracting even more curiosity and making students more present and participatory in the classroom.

Keywords: Didactic models; Genetics; Molecular biology; Myopia; Meaningful learning.

INTRODUÇÃO

Um dos maiores desafios enfrentados pelos professores de biologia é a dificuldade de relacionar os conteúdos com temas que atraiam a atenção dos alunos. Os avanços e mudanças no cenário social e tecnológico necessitam que os professores de biologia atualizem constantemente os seus métodos de ensino. Para Luz et al. (2019) o uso de novas metodologias incita a criatividade e estimula a aquisição de novos conhecimentos.

Para enfrentar esse desafio podem ser aplicadas diversas ferramentas que podem facilitar a compreensão de conteúdos como o sequenciamento do genoma humano que revolucionou a pesquisa científica e o entendimento de como funciona a biologia molecular, atualizando e revelando informações importantes, tais como pequenas variações genéticas que são encontradas na sequência de DNA entre populações animais e vegetais.

O avanço dos estudos genéticos ao longo do tempo resultou em diversas descobertas que impactaram e impactam significativamente a humanidade. Dentre essas descobertas de alta importância social podemos citar o entendimento da transmissão de características genéticas dos ascendentes para os descendentes e o teste de paternidade/maternidade. Esses temas costumam despertar a atenção e curiosidade dos alunos pelo fato de, frequentemente, estarem associados aos assuntos veiculados pela mídia.

Nesse sentido, os autores Medeiros, Alves, Kimura (2023) relataram que a aplicação de um modelo didático de sequenciamento de DNA associando a genética, teve muita importância na socialização, promovendo o trabalho em grupo e o exercício dos alunos em respeitar as diferentes opiniões. Esses autores também observaram que os alunos gostaram da experiência e que conseguiram aprender e compreender os conceitos que envolvem a sequenciação de bases nitrogenadas do DNA, como também sua aplicação na transmissão da informação genética, além de reforçar o conteúdo da origem da variabilidade genética entre os indivíduos. Assim, o uso do modelo proposto se mostrou uma metodologia eficiente para subsidiar professores em sua prática pedagógica dentro do conteúdo de genética.

Segundo os autores Silva & Saraiva (2020), é importante a realização de atividades de ensino que utilizem metodologias didáticas que tornam o aluno protagonista do processo de aprendizagem. E nessa perspectiva, os autores Lima et al. (2020) destacaram que uma sequência de ensino investigativa, envolvendo modelos didáticos, possibilita maior participação dos estudantes, podendo melhorar as relações aluno-aluno e aluno-professor. Assim, os modelos didáticos são instrumentos sugestivos e representativos que podem ser eficazes na prática docente para o ensino de conteúdos abstratos, de forma a facilitar a aprendizagem, principalmente dos assuntos de genética, que são de difícil assimilação pelos discentes (LARENTIS, AMANCIO, GHISI, 2020).

O diagnóstico clínico-molecular que são exemplificados nas autorradiografias do gel ilustrados através de representações gráficas, são exemplos de ferramentas que podem ser aplicadas em forma de um modelo didático para contextualizar conteúdos considerados de difícil compreensão, com o objetivo de aumentar o interesse do aluno pelo tema da disciplina.

Em relação às doenças genéticas, assuntos de educação em saúde teria como objetivo informar aos alunos sobre as doenças comuns na população, além de mostrar aos alunos que em muitos casos, o fato de alguém ter uma doença genética não quer dizer necessariamente que esse indivíduo irá manifestar todos os sintomas da doença, já que hoje em dia, existem meios de se descobrir se a pessoa é portadora ou não da doença, bem como tratamentos que impedem a manifestação da mesma. Além disso, mesmo nos casos em que não se pode impedir que a doença ocorra, é importante que todos saibam que, tomando alguns cuidados, o portador poderá dispor de uma melhor condição de vida.

A sequência didática, aqui aplicada, teve a intenção de proporcionar uma aprendizagem significativa que permitisse aos licenciandos em biologia, atuarem ativamente no processo ensino-aprendizagem relacionando os aspectos moleculares à função que o código genético desempenha nos seres humanos. Assim, este trabalho teve como objetivo criar subsídios para a fixação de conceitos teóricos e práticos de Genética relacionados a Biologia Molecular e de interesse da sociedade, destacando resultados de autorradiografias da reação em cadeia da polimerase (PCR) seguida de eletroforese em gel de agarose no diagnóstico clínico-molecular e sua importância para a identificação de classes genotípicas relacionadas aos fenótipos da visão.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na Universidade Federal do município de Rondonópolis do Estado de Mato Grosso, utilizando-se do método quanti-qualitativo de natureza estruturada, destacando uma simulação prática de resultados das autorradiografias da reação em cadeia da polimerase (PCR) seguida de eletroforese em gel de agarose no diagnóstico clínico-molecular e sua importância para a identificação genotípica dos fenótipos da visão normal e miopia.

Os sujeitos de estudo foram 28 (vinte e oito) alunos do Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas do Instituto de Ciências Exatas e Naturais, sendo 36,0% de sexo masculino e 64,0% de sexo feminino, com faixa etária entre 18 e 36 anos.

Para a resolução da atividade foi elaborado uma sequência didática dividida em duas aulas, de 50 minutos/cada. A atividade de investigação foi organizada em dois momentos, da seguinte forma:

A primeira aula (50 min) foi composta pela parte introdutória do tema abordado, de maneira que os alunos pudessem se contextualizar, compreender e se envolver com o tema relacionado. E nesse sentido, os alunos foram orientados para o estudo de genética associada a biologia molecular, a fim de que adquirissem conhecimentos teóricos de hereditariedade mendeliana clássica e do uso de técnicas de eletroforese em gel para identificação de variantes genéticas e padrões de hereditariedade.

Na segunda aula (50 min) foi aplicado um experimento simulando o diagnóstico clínico-molecular, onde os fragmentos de DNA separados por eletroforese em gel, relativos aos genes alelos dos fenótipos da visão normal e miopia foram corados para que se tornassem visíveis para a identificação das classes genotípicas associadas aos fenótipos de oito amostras de indivíduos do sexo masculino e feminino com presença ou ausência da miopia (Figuras 1).

Estratégia do modelo didático proposto

De acordo com o objetivo proposto, o modelo didático (Figuras 1), foi elaborado após vários estudos, como representação didática e fonte de informação, que fosse, para os licenciandos em biologia, de fácil acesso, manipulação, confecção e aplicação, possibilitando a oportunidade de desenvolver consciência crítica, responsabilidade e gosto pela pesquisa, qualidades importantes para a formação de um bom estudante.

A estratégia seguida foi a de coleta de dados através de pesquisa na Figuras 1, que ilustra autorradiografias que simulavam resultados da reação em cadeia da polimerase (PCR) seguida de eletroforese em gel de agarose para a identificação das classes genotípicas relativas aos fenótipos da visão normal e miopia.

Esse tipo de recurso didático foi uma ferramenta construída para facilitar o entendimento da correlação genes alelos-genótipo. As informações coletadas através do perfil eletroforético esquematizado (Figura 1), foram organizadas em tabelas construídas, associando cada indivíduo ao padrão com três bandas (marcadores moleculares) de DNA. Neste caso existem 2 alelos para serem identificados: o dominante e o recessivo.

No caso, para a identificação dos genes e das classes genotípicas, baseou-se em um único parâmetro: foram verificados os marcadores alélicos que são compartilhadas entre os perfis genéticos (bandas) previamente obtidos, levando-se em consideração os fenótipos das amostras 01 a 08.

Assim, deve-se fazer a comparação das bandas de DNA nas três linhas das oito colunas, verificando-se em cada coluna, se os marcadores alélicos obrigatórios presentes no perfil dos indivíduos portadores de distúrbio visual ou não (banda) são coincidentes.

Desse modo, a visão normal e a miopia serão caracteres biológicos, que poderão ser comprovados pelo o exame de identificação molecular (DNA) que é muito útil para solucionar a investigação, já que se baseiam na identificação de marcas genéticas que são herdadas.

Apresentação da Situação-problema

Um dos mais importantes entre os cinco sentidos humanos é a visão. Ela nos permite a percepção do mundo com todas as suas formas e cores, que tanto impressionam o homem desde os tempos mais remotos.

Didaticamente, dividimos o olho humano em:

Cristalino: Parte frontal do olho que funciona como uma lente convergente, do tipo biconvexa.

Pupila: comporta-se como um diafragma, controlando a quantidade de luz que penetra no olho.

Retina: é a parte sensível à luz, onde são projetadas as imagens formadas pelo cristalino e enviadas ao cérebro.

Músculos ciliares: comprimem convenientemente o cristalino, alterando a distância focal.

O olho humano pode apresentar algumas anormalidades que levam a dificuldades de enxergar em algumas situações. E uma dessas anormalidades é a Miopia.

A Miopia é uma anomalia da visão que consiste em um alongamento do globo ocular. Nesse caso há um afastamento da retina em relação ao cristalino, fazendo que a imagem seja formada antes da retina, tornando-a não nítida.

Para o indivíduo míope, o ponto próximo (ou remoto), que é o ponto onde a imagem é nítida, está a uma distância finita, maior ou menor, conforme o grau da miopia. Desse modo, o míope tem grandes dificuldades de enxergar objetos distantes.

A correção da miopia é feita comumente com a utilização de lentes divergentes. Ela fornece, de um objeto impróprio (objeto no infinito), uma imagem virtual no ponto remoto do olho. Essa imagem se comporta como objeto para o cristalino, produzindo uma imagem final real exatamente sobre a retina.

O conteúdo histórico apresentado aos alunos

A miopia que se manifesta cedo, na infância ou na adolescência, tem caráter genético. Nos últimos anos, no entanto, os oftalmologistas têm verificado um aumento nos casos de miopia que estaria relacionado ao uso frequente de telas digitais a curta distância.

Cada vez mais, as pessoas começam precocemente e dedicam um tempo considerável a tarefas que exigem o uso da visão de perto, como a utilização de monitores de computadores e telefones celulares, o que pode contribuir para o surgimento da miopia.

Suponha agora que em um experimento populacional para se avaliar a influência da genética na miopia, pesquisadores reuniram amostras de oito indivíduos, sendo, quatro homens e quatro mulheres e o DNA recolhido foi amplificado por PCR.

A partir desse estudo, a tipagem do DNA que foi detectada pela técnica da eletroforese, revelou quando comparados os padrões de bandas de DNA das pessoas, fatores genéticos relacionados a vulnerabilidade para o distúrbio visual o qual é transmitido dos ascendentes para os descendentes pelo código genético segundo as leis de Mendel.

Modelo didático: Figura 1.

Previamente foi disponibilizado impresso em papel tamanho A4 para cada aluno a Figura 1, simulando imagens que ilustram os resultados da Reação em Cadeia da Polimerase (PCR) seguida de eletroforese em gel de agarose. Destacando que para o diagnóstico relacionado ao distúrbio visual ou não, os alunos deveriam avaliar o padrão das faixas dos marcadores moleculares ou “bandas” e determinar as classes genotípicas geradas por cada amostra dos oito indivíduos.

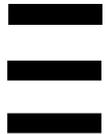
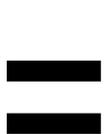
Indivíduos (amostras)								
	01	02	03	04	05	06	07	08
Marcadores Moleculares (Bandas)								
Fenótipos								
Genótipos								

Figura 1. Modelo didático confeccionado com perspectivas de utilização no processo de ensino e aprendizagem de genética, ilustrando hipoteticamente 8 autorradiografias do gel que permitem identificar indivíduos masculinos e femininos portadores de distúrbio visual ou não. (Fonte: Os autores).

Através do perfil eletroforético esquematizado (Figura 1), foram construídas tabelas, associando cada indivíduo a um padrão com três bandas (marcadores moleculares) de DNA, em duas delas, cada uma representando um alelo do mesmo gene. Também a frequência e porcentagem foi calculada, apresentando informações quanto aos genes alelos, classes fenotípicas e classes genotípicas.

RESULTADO E DISCUSSÃO

Os seres humanos possuem cerca de 25.000 pares de genes. Os genes desempenham um papel importante na determinação de quem somos – nossa altura, cor dos cabelos, o risco de algumas doenças, e muito mais. Todos nós temos muitas variações, defeitos e alterações em

nossos genes. A maioria destas variações não afetam o que somos ou a nossa saúde e bem-estar. No entanto, algumas variações genéticas, também chamadas de mutações, podem causar problemas. Algumas mutações levam a doenças, incluindo doenças degenerativas da retina.

Portanto, não há nada que se possa fazer para mudar nossa tendência genética para certas doenças oculares. Entretanto, é possível adotar diversas medidas a fim de preservar a visão e minimizar os riscos associados às mutações presentes nos genes.

De acordo com Beiguelman (2008); Griffiths et al. (2009) os genes estão localizados em estruturas chamadas cromossomos, e os seres humanos normalmente têm 23 pares de cromossomos. Nós herdamos um cromossomo de cada par, juntamente com os genes contidos em cada cromossomo dos ascendentes, mãe e pai. Os pares cromossômicos 1 a 22 são conhecidos como cromossomos autossômicos ou não-sexuais. O par de cromossomos 23 é conhecido como cromossomos alossomos ou sexuais, e uma das suas funções é determinar o sexo dos indivíduos

Alguns indivíduos são portadores de genes que desencadeiam doenças, o que significa que eles próprios não têm a doença, mas têm o gene mutado e podem passá-lo para seus filhos. E quando alguém tem a doença e apresenta sintomas da mesma, eles são conhecidos como sendo afetados.

Para ser afetado por uma doença recessiva, um descendente deve herdar uma cópia mutante do gene de ambos os ascendentes. Com a doença recessiva, cada ascendente tem uma cópia mutada e uma cópia normal do gene em causa. Como cada um dos ascendentes tem apenas uma cópia mutante do gene, eles são portadores do gene e não desenvolvem a doença (substituir por anormalidade), eles não terão problemas de visão.

Se o descendente herda apenas um gene mutante de um ascendente, então ele será um portador do gene e não será afetado pela (doença) anormalidade e não vai sentir qualquer problema.

Se o descendente herdar uma cópia mutante de cada ascendente, então irá apresentar distúrbio visual. Assim, doenças recessivas são mais susceptíveis, aparecendo como uma surpresa em uma família, porque os ascendentes pais de um descendente afetado são portadores não afetados, e a doença pode não ter aparecido por várias gerações. Desse modo, para as doenças recessivas, existem 25% de chance do descendente ser afetado, e 50% de chance de que eles sejam portadores do gene, mas não sejam afetados pela doença. Há também 25% de chance de não receberem nenhum gene mutado.

A miopia é um dos problemas oftalmológicos mais comuns. Ela causa dificuldades na visão à distância e geralmente progride continuamente até a idade adulta, quando se estabiliza. No entanto, a limitação causada é facilmente contornável com o uso de lentes apropriadas. Nos últimos anos, a miopia está se tornando cada vez mais comum, fenômeno que os médicos atribuem ao estilo de vida das novas gerações.

Nos olhos de um indivíduo míope, a imagem é formada **antes** do ponto focal da retina. Por isso, as imagens de objetos que estão localizados longe do observador acabam desfocadas. Ao aproximar-se do objeto, o foco se ajusta e a visão fica mais nítida. Ocorre devido a um erro de refração no qual a visão se torna melhor para objetos próximos do que para objetos que estão distantes.

A genética desempenha um papel importante na saúde ocular, mas nem todos os problemas de visão são causados por mutações nos genes, já que algumas condições podem ocorrer devido a fatores ambientais. Ainda assim, muitas doenças oculares têm base genética e são transmitidas por herança familiar. Além disso, saber a predisposição genética para possíveis doenças oculares permite o rastreamento precoce dessas condições e possibilita a realização de intervenções para prevenir ou retardar a progressão dos distúrbios ou então doenças.

A miopia por exemplo, é uma condição ocular que causa dificuldade em enxergar objetos de longe com clareza, e possui forte predisposição genética. Se os pais são míopes, a

probabilidade de os filhos desenvolverem esse distúrbio é maior. No entanto, a maioria dos casos de miopia pode ser curada por meio da cirurgia a laser, que pode corrigir o grau por completo.

A recessividade e a dominância são dois conceitos importantes quando falamos em expressão de uma característica. Para entendermos melhor, antes de compreendermos o que é dominância e recessividade, devemos entender que os genes alelos são sequências específicas de nucleotídeos no DNA que determinam um caráter hereditário. E que os genes que determinam uma mesma característica estão situados em um mesmo lugar (lócus) em cromossomos homólogos. Os alelos seriam então formas alternativas de um gene que ocupa o mesmo lócus em cromossomos homólogos.

Na prática, funciona assim: o óvulo e o espermatozóide carregam informações genéticas, respectivamente, dos ascendentes homens e mulheres. Quando o óvulo é fecundado, ou seja, logo no início da gravidez, essas informações se misturam, criando o DNA do futuro descendente.

Isso quer dizer que o descendente terá um DNA formado por 50% do conteúdo genético da ascendente mãe e 50% do ascendente pai, criando informações únicas e exclusivas. Excluindo os gêmeos univitelinos, ninguém no mundo carrega o mesmo DNA. É exatamente por isso que é possível fazer um teste de DNA que oferece 99,999% de precisão (VENTER et al., 2003; ALBERTS et al., 2010).

Essa mistura de genes que são herdadas se junta e determina as características do descendente. Mas nem todos os genes herdados têm a mesma força de expressão. Existe gene que se porta como dominante e gene que se porta como recessivo. O gene dominante, como o próprio nome diz, exercerá mais influência no resultado final. Lembremos que para cada característica monogênica, um organismo herda um par de alelos de um gene, um proveniente da mãe e outro do pai. Em um indivíduo, os alelos de determinado lócus em cromossomos homólogos podem ser idênticos ou diferentes.

Desse modo, dizemos que um alelo é dominante quando ele consegue determinar um fenótipo, mesmo que ocorra em dose simples. Isso significa que o alelo dominante irá expressar-se tanto em homozigose quanto em heterozigose. Alelo dominante é expresso no fenótipo, mesmo em dose simples. E dizemos que um alelo é recessivo quando ele só expressa seu fenótipo quando estiver aos pares. Desse modo, indivíduos heterozigotos não expressam o fenótipo determinado pelo alelo recessivo. Alelo recessivo é expresso no fenótipo apenas em dose dupla.

Frequentemente utilizamos esquemas para observar o comportamento de um determinado gene. As autorradiografias do gel são representações que permitem a observação da relação de parentesco entre os indivíduos e, conseqüentemente, os padrões de herança de muitas doenças raras que podem ser herdadas. Isso não quer dizer que se um ascendente possui uma doença o descendente com certeza a terá. Mas é de extrema importância saber sobre o histórico médico dos ascendentes.

Na Tabela 1, a representação esquemática da autorradiografia do gel de sequenciamento de DNA, contém oito colunas e três linhas de marcadores moleculares que ilustram através das bandas, os genes alelos de seis indivíduos portadores do fenótipo de visão normal e dois de miopia, reconhecendo a combinação dos genótipos de cada um.

Após a análise das características avaliadas, foi feita uma comparação para identificar a existência de uma associação biológica entre os padrões genotípicos das amostras dos indivíduos (02 e 07) com as dos indivíduos (01, 03, 04, 05, 06 e 08). Para isso, foi considerado as ocorrências das intersecções dos alinhamentos, relativos aos marcadores alélicos com as mesmas bandas na coluna vertical coincidente na linha horizontal. Este fato serviu como referência para mostrar a posição do gene que identificava o genótipo de cada indivíduo que pode ser portador de genes alelos referentes a visão normal ou miopia. Para reconhecer a classe

genotípica de cada indivíduo foi feita a verificação da posição das bandas (marcadores moleculares). Esses marcadores identificavam trechos do DNA cujas sequências repetidas de nucleotídeos são exclusivas para cada uma das características, sendo transmitidas de acordo com herança mendeliana.

Assim, a primeira e segunda linhas (Tabela 1), simulavam o padrão eletroforético de todas os indivíduos envolvidos, onde os fragmentos de DNA se distribuem em faixas (bandas) por ordem de tamanho. Cada uma das oito colunas verticais seguintes refere-se a uma amostra de DNA, para comparação, simulando o padrão eletroforético dos indivíduos (02 e 07) míopes e (01, 03, 04, 05, 06 e 08) visão normal, onde os fragmentos de DNA se distribuem em faixas por ordem de tamanho, em baixo (menor) e em cima (maior), possuindo apenas diferenças no seu comprimento, e que são herdadas de maneira mendeliana, sendo que, cada um desses fragmentos pode ser chamado de alelo.

Observa-se que cada fenótipo tem uma combinação genética exclusiva, o que permite uma diferenciação entre eles. Portanto, os indivíduos (02 e 07) de fenótipos míopes, são vinculados apenas aos marcadores moleculares da primeira linha, os (03 e 05) de fenótipos de visão normal, são vinculados apenas aos marcadores moleculares da segunda linha e (01, 04, 06 e 08) também de fenótipos de visão normal, são vinculados aos marcadores moleculares da primeira e da segunda linha. Portanto, quando associamos os marcadores moleculares, que expressam a condição fenotípica de cada indivíduo, verificamos que esses marcadores ou bandas (genes) observados possibilita três variedades de arranjos.

Assim, cada indivíduo tem um padrão específico de marcadores moleculares e esse padrão é herdado de seus pais. Em suma, podemos dizer que esses conjuntos de marcadores moleculares se referem aos genes encontrados em um indivíduo e que são herdados de maneira mendeliana. Portanto, em outras palavras, podemos chamar de genótipo que é um termo usado para se referir à constituição genética de um indivíduo. Assim, a presença da banda na primeira ou segunda linha, caracteriza constituição genética de um indivíduo com problemas oftalmológicos diferentes.??? Segundo Torggler et al. (1995), antes do uso da eletroforese o estudo da variação genética em populações naturais era limitado, pois dependia da identificação de mutantes recessivos raros, que, quando em homozigose, apresentavam mudanças morfológicas visíveis.

Para podermos conhecer o par de genes alelos que identifica a classe genotípica do fenótipo do indivíduo em cada coluna, é necessário combinar as bandas de cada linha nas oito colunas (Figura 1 e Tabela 1). Cada banda de uma mesma linha, contém um fragmento de DNA do mesmo tamanho. Dessa forma, nota-se que nas amostras 02 e 07 os fenótipos são portadores de miopia e apresentam duas bandas no gel, sendo que a primeira banda não possui homologia no DNA com as dos indivíduos 03 e 05 que possuem fenótipos de visão normal. Isso significa que os indivíduos 02 e 07 apresentam um par de alelos, diferentes, dos indivíduos 03 e 05, isto é, são geneticamente diferentes existindo variações de características na seqüência de DNA.

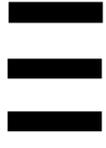
Assim, para o reconhecimento de qual fenótipo é o dominante e qual é o recessivo, observa-se que os indivíduos 01, 04, 06 e 08 apresentaram na informação dos marcadores moleculares, duas bandas de DNA com características diferentes, uma indicando para a visão normal e outra para a miopia, porém, não expressando o fenótipo que é determinado pela banda que reconhece a miopia. Desse modo, indivíduos que possuem as duas bandas diferentes, são portadores de visão normal e não expressam o fenótipo da miopia.

Assim, a Tabela 1, mostra, respectivamente, os genótipos homozigotos recessivos (mm) dos indivíduos (02 e 07) míopes. Os genótipos homozigotos dominantes (MM) dos indivíduos (03 e 05) visão normal. E os genótipos heterozigotos (Mm) dos indivíduos (01, 04, 06 e 08) também de visão normal. De acordo com os autores Gardner & Snustad (1986); Griffiths et al. (2016), o genótipo refere-se à combinação de alelos que um indivíduo possui. Já o fenótipo, trata das características observáveis, sejam elas morfológicas, bioquímicas ou fisiológicas.

Portanto, para os indivíduos 01, 04, 06 e 08 de fenótipo de visão normal, mas que são portadores de genótipos heterozigotos (Mm), quando as suas células sofrerem meiose, produzirão dois tipos de gametas: 50% com alelo dominante “M” e 50% com alelo recessivo “m”.

Já os indivíduos 02 e 07 de fenótipo míope, que são portadores de genótipos homozigotos recessivos (mm), quando suas células reprodutivas sofrerem meiose para formar seus gametas, cada um deles receberá um alelo “m”. E as dos indivíduos 03 e 05 de fenótipo de visão normal, mas que são portadores de genótipos homozigotos dominantes (MM) quando suas células sexuais sofrerem gametogêneses, cada gameta receberá um alelo “M”.

Tabela 1. Resultados detectados hipoteticamente pela reação em cadeia da polimerase (PCR) seguida de eletroforese em gel de agarose dos fragmentos de restrição do DNA que resultam de indivíduos masculinos e femininos carregam os genes em comum da visão normal e miopia, integrantes da Figura 1.

Indivíduos (amostras)								
	01	02	03	04	05	06	07	08
Marcadores Moleculares (Bandas)								
Fenótipos	Normal	Miopia	Normal	Normal	Normal	Normal	Miopia	Normal
Genótipos	Mm	mm	MM	Mm	MM	Mm	mm	Mm

Na tabela 2, foi possível estimar as frequências absolutas e relativas de genótipos dos indivíduos incluídos no estudo. Essas estimativas foram obtidas com o emprego de métodos algébricos, comparando-se a distribuição dos genótipos MM, Mm e mm (Tabela 1). Assim, a frequência dos diferentes genótipos observados foram: 2 indivíduos (25,0%) com o genótipo MM; 4 indivíduos (50,0%) com genótipo Mm e 2 indivíduos (25,0%) portadores do distúrbio visual com genótipo mm (Tabela 5).

Tabela 2. Frequências e porcentagens das classes genotípicas relacionada a visão normal e miopia observados nos indivíduos integrantes da Figura 1.

Diagnóstico molecular e genético			
Marcadores Moleculares (Bandas)			
Fenótipos	Normal	Normal	Miopia
Genótipos	Mm	MM	mm
Frequência absoluta	4	2	2
Frequência relativa	0,5	0,25	0,25
%	50,0	25,0	25,0

Na tabela 3, a frequência relativa gênica ou alélica foi descrita considerando-se “m” como sendo um alelo do loco M. Portanto, a frequência do gene “m” é a proporção ou a porcentagem de todos os genes, deste loco, que são “m”. Assim, na amostra de indivíduos analisada, foi observado que as frequências dos diferentes genes alelos foram iguais, respectivamente, 8 alelos (50,0%) “M” e 8 alelos (50,0%) “m”.

Tabela 3. Distribuição da frequência dos genes alelos “M” e “m” observados nos indivíduos integrantes da Figura 1.

Genes alelos	Frequência absoluta	Frequência relativa	%
M	8	0,5	50,0%
m	8	0,5	50,0%
Total	16	1,0	100,0%

Na Figura 1 e Tabela 1, observa-se a representação esquemática das 8 autorradiografias e os resultados detectados hipoteticamente pela reação em cadeia da polimerase (PCR) seguida de eletroforese em gel de agarose dos fragmentos de restrição do DNA, onde cada aluno observou na informação dos marcadores moleculares, os genes determinantes da visão normal e miopia em oito indivíduos. Nessa atividade os alunos analisaram os resultados encontrados sobre quais as características eram dominantes e quais as características eram recessivas, em relação ao indivíduo ter visão normal ou miopia. Essas características observadas nos seres

humanos são particularidades que são definidas por um único par de genes, na proporção que foi descrita por Mendel.

Desse modo, na Tabela 1, os alunos puderam determinar o par de genes alelos que identifica a classe genotípica do fenótipo do indivíduo em cada coluna, portadores de distúrbio visual ou não da Figura 1.

Verificaram que essas características observadas nos seres humanos são particularidades que são definidas por um único par de genes, na proporção que foi descrita por Mendel. Também notaram que as amostras 2 e 7 são idênticas e diferentes de 3 e 5, e que as amostras 01, 04, 06 e 08 são idênticas, mas, apresentaram na informação dos marcadores moleculares, duas bandas de dna com características diferentes, uma indicando para a visão normal e outra para a miopia. Isso permitiu saber que as duas características fenotípicas são hereditárias e de que modo elas são herdadas, demonstrando, assim, a dominância do alelo para a visão normal.

De acordo com Nussbaum et al. (2002); Beiguelman (2008); Griffiths et al. (2009) polimorfismos genéticos são variações na sequência de nucleotídeos da molécula de dna, que alteram o genoma dos indivíduos. As alterações do material genético resultam na ocorrência simultânea de duas ou mais formas alélicas em um mesmo locus. Como consequência à ocorrência de polimorfismos, os cromossomos homólogos das espécies diplóides, que são geneticamente equivalentes, têm regiões onde a sequência de nucleotídeos é diferente, não existindo homologia. Por definição, consideram-se polimórficos, os loci que apresentam, para o alelo mais comum, frequência populacional igual ou inferior a 99% (CAVALLI-SFORZA ET AL., 1994).

Na Tabela 2, os alunos esquematizaram as frequências e porcentagens das classes genotípicas da população estudada relacionados a visão normal e miopia. Na característica das pessoas que tem a visão normal, o caráter dominante prevaleceu em 75,0% entre as amostras.

Na Tabela 3, os alunos esquematizaram as frequências e porcentagens dos genes relacionados a visão normal e miopia na população estudada. Observaram que a frequência dos genes alelos foram iguais, respectivamente, 8 alelos (50,0%) “M” e 8 alelos (50,0%) “m”.

Segundo Beiguelman (2008); Griffiths et al. (2009); Klug et al. (2010) para se herdar uma doença autossômica recessiva em condições normais, são necessários dois alelos recessivos para que a doença se manifeste. As doenças recessivas são relativamente raras na população. As doenças autossômicas dominantes são mais comuns na população, podendo ser vistas em aproximadamente 1 a cada 200 indivíduos. Os heterozigotos portadores de genes de doenças recessivas são muito mais comuns do que os homozigotos afetados (PIERCE 2004; SNUSTAD & SIMMONS 2008; GRIFFITHS et al. 2016).

Atualmente a reação em cadeia da polimerase, ou simplesmente PCR (do inglês Polimerase Chain Reaction), é uma técnica de biologia molecular utilizada em estudos de traços hereditários que são herdados, mas não necessariamente serão desenvolvidos. Isso significa que por mais que os pais tenham algum tipo de problema visual, os filhos podem ou não desenvolver o problema. Desse modo, alguns problemas visuais são propícios a serem desenvolvidos, levando em conta o fator hereditário. Entre eles, a miopia. Assim, para diagnosticar com precisão se um descendente pode ou não adquirir os mesmos problemas visuais dos ascendentes é necessário que seja realizado o teste genético. É importante avaliar, através do teste, se realmente o problema pode ser transmitido de uma maneira dominante ou recessiva para os descendentes. É importante entender as situações em que são doenças congênitas, hereditárias, se elas estão associadas à alguma síndrome. Mas quando falamos de fator genético, avaliamos se existem casos na família. Se um ascendente o avô, o pai ou então irmão tem alguma condição que pode se repetir sendo transmitido desses ascendentes para os descendentes pelo código genético.

Portanto, temos que, para ser afetado pela miopia (Figura 1 e Tabela 1), característica recessiva (mm), um indivíduo deve herdar uma cópia do gene de ambos os pais. Como a

disfunção visual é recessiva, cada pai tem uma cópia mutada e uma cópia normal do gene em causa (Mm). Como cada um dos pais tem apenas uma cópia mutante do gene da miopia, eles são portadores do gene e não desenvolvem a anormalidade, eles não têm problemas de visão. Se o indivíduo herda apenas um gene da miopia de um pai, então ele será um portador do gene (genótipo Mm) e não será afetado e não vai sentir qualquer problema na visão.

A representação dos genes por marcadores moleculares ou bandas (Figuras 1 e Tabelas 1, 2 e 3) permitiram que fossem trabalhados conceitos como alelos, locus, homocigoto e heterocigoto, termos estes importantes para a compreensão das bases da genética e, por vezes, tão abstratos para os estudantes (TEMP, 2011). E, conforme destacaram os autores Sousa et al. (2016); Medeiros et al. (2021), a compreensão de conceitos específicos da área de Genética é muito importante para a aprendizagem do aluno, que deve ser capaz de compreender os processos biológicos e suas estruturas, bem como estabelecer correlações e inter-relações entre os diferentes processos celulares com os mecanismos genéticos. Portanto, nas autorradiografias do gel, foi possível observar que o perfil genético de um indivíduo, é baseado na combinação de marcadores alélicos que são herdados de seus progenitores. Esses marcadores ou polimorfismos são considerados diferenças nas sequências de DNA entre os indivíduos.

Dessa forma, foi possível verificar que os indivíduos que não eram portadores de distúrbio visual possuíam duas ou três bandas e os indivíduos que eram portadores duas bandas. Desse modo os alunos descobriram através das amostras 01, 04, 06 e 08 (Tabela 1) que um alelo é dominante quando ele consegue determinar um fenótipo, mesmo que ocorra em dose simples. Portanto, entenderam que o alelo dominante “M” que determina o fenótipo da visão normal, irá expressar-se tanto em homocigose “MM” quanto em heterocigose “Mm”. E que o alelo recessivo “m” que determina o fenótipo da miopia somente se expressa quando está aos pares “mm”. Desse modo, indivíduos heterocigotos não expressam o fenótipo determinado pelo alelo recessivo. Alelo recessivo é expresso no fenótipo apenas em dose dupla.

Segundo Borges & Lima (2007) e Durban et al. (2008), boa parcela dos estudantes brasileiros saem do ensino médio entendendo, por exemplo, que as leis de Mendel são apenas “letras” que se combinam em um cruzamento, não conseguindo fazer a associação de que essas “letras” como MM, Mm ou mm, que são apenas símbolos, são sequências nucleotídicas, que representam os genes, e estão localizadas nos cromossomos, se segregando durante a meiose para a formação dos gametas.

Diante disso, foi observado que a utilização dessa simulação (Figura 1) promoveu maior aprendizagem do conteúdo, além de possibilitar uma maior socialização dos estudantes, além de permitir relacionar o saber científico ao saber cotidiano, demonstrando a importância da utilização de metodologias alternativas na aprendizagem da Genética. As análises das oito autorradiografias do gel que identificavam indivíduos masculinos e femininos portadores de distúrbio visual ou não permitiram observar um desempenho semelhante ao das aulas práticas, sendo indicativo de que a substituição é possível pelo modelo alternativo aqui utilizado. De acordo com Krasilchik (2004) somente nas aulas práticas os alunos enfrentam os resultados não previstos, cuja interpretação desafia sua imaginação e raciocínio. Ademais, o método experimental permite que os alunos vivenciem suas diferentes etapas como: manipulação, observação, investigação, interpretação.

A utilização desse modelo em sala de aula, unindo teoria e prática aumentou o interesse pela disciplina estimulando os estudantes a participarem ativamente da aula, saindo do modelo tradicional e inserindo novas ferramentas de ensino. Logo o conteúdo foi apresentado de uma forma mais prática, ou seja, é possível que os estudantes tenham tido maior desenvolvimento em alguns conteúdos da Genética.

Para os autores Medeiros, Alves e Kimura (2023) a aplicação do modelo didático também possibilitou aprendizagem construtivista e a socialização, promovendo o trabalho em

grupo e exercitando a habilidade dos licenciandos em respeitar as diferentes opiniões e tomar decisões para a construção das figuras e das tabelas.

Nesse sentido, os autores Orlando et al. (2009); Medeiros et al. (2021); Medeiros, Alves e Kimura (2022; 2023; 2024) relataram que uma alternativa para substituir a falta de laboratórios com equipamentos de alto custo nas Instituições de Ensino seria a produção de laboratórios equipados com modelos didáticos construídos, trazendo uma visão mais aproximada do mundo abstrato aos estudantes. Setúval (2009) afirmou que após a produção de modelos didáticos para apoio pedagógico em sala de aula, foi observado aulas mais dinâmicas com fixação dos conteúdos, promovendo novas perspectivas aos discentes. Portanto, permitindo a criatividade e socialização dos conhecimentos pelos alunos, ao utilizar estas ferramentas na construção do conhecimento. Assim, de acordo com Krasilchick (2012), as atividades práticas visam criar um espaço em que é possível proporcionar ao aluno maior interesse no assunto a ser compreendido, envolvendo-o em uma investigação de caráter científico e na resolução de problemas.

Vários estudos que avaliam a utilização de modelos representativos já foram realizados no ensino fundamental, médio e superior. Além dos estudos que buscavam aumentar o interesse e aprendizado dos alunos, também existem trabalhos que tiveram como objetivo construir modelos alternativos para auxiliar o professor que aceitasse utilizá-los em aulas. Os autores Matos et al. (2009); Orlando et al. (2009); Mendonça & Santos (2011); Souza & Faria (2011); Temp (2011); Duso (2012); Krause (2012); Madureira (2012); Oliveira et al. (2012); Duso et al. (2013); Ferreira et al. (2013); Reis et al. (2013); Olmo et al. (2014); Vinholi Júnior & Princival (2014); Medeiros et al. (2021); Medeiros, Alves e Kimura (2022; 2023; 2024) relataram envolvimento dos alunos do início ao fim da atividade; promoção de um aprendizado significativo em relação a conceitos que os alunos possuíam muita dificuldade em assimilar; curiosidade, entusiasmo, interesse, interação e maior facilidade no desenvolvimento de competências e habilidades; desenvolvimento da criatividade e do espírito de equipe entre os alunos.

Desta forma, espera-se que esse tipo de recurso didático simulando imagens de autorradiografias do gel como parte experimental de investigação do exame em DNA para reconhecimento genético que foi desenvolvido neste trabalho, proporcione aos estudantes de licenciatura em biologia, mais uma ferramenta metodológica para reprodução, a ser usado durante as aulas de genética. Para isso houve a preocupação de se utilizar materiais de fácil aquisição e de baixo custo, além de ser de fácil construção para aplicação. Portanto, como descrito por Guimarães & Ferreira (2006); Justina & Ferla (2006); Cavalcante e Silva (2008); Temp & Bartholomei-Santos (2013); Medeiros et al. (2021); Medeiros, Alves e Kimura (2022; 2023; 2024) este tipo de recurso de ensino é considerado uma ferramenta valiosa de aprendizagem, tornando a aula mais diversificada, dinâmica e atrativa, ao mesmo tempo em que auxiliam o professor na execução de diferentes conteúdos em suas aulas. E nesse sentido, os PCN (BRASIL, 1997) recomendam que o professor utilize, além do livro didático, materiais diversificados como jornais, revistas, computadores, filmes, etc., como fonte de informação, de forma a ampliar o tratamento dado aos conteúdos e fazer com que o aluno se sinta inserido no mundo à sua volta.

CONCLUSÃO

Concluiu-se que que são vários os benefícios alcançados pela utilização da representação didática abordando o conteúdo sobre herança genética utilizando as imagens das autorradiografias do gel como parte experimental da investigação do exame em DNA.

O potencial de se examinar a composição genética de um indivíduo e compará-la com a de um outro, mostrou que esse modelo de aula não exigiu a utilização de equipamentos

profissionais, e que as metodologias utilizadas nesse trabalho foram suficientes para um resultado adequado e de boa qualidade sendo, portanto, uma alternativa a ser aplicada em aulas de biologia.

Em relação à condição fenotípica das oito amostras, pode se concluir que existem três possibilidades de a constituição genotípica que é herdada de forma mendeliana por esses indivíduos, ou seja, sempre estão presentes no DNA: MM, Mm e mm. Portanto, indivíduos com dois alelos M (genótipo MM) ou com um alelo M (genótipo Mm) apresentavam o fenótipo de visão normal, enquanto os com dois alelos m (genótipo mm), apresentavam o fenótipo de miopia. E de modo geral é possível reconhecer que o heterozigoto “Mm” não tem anormalidade visual, mas, está relacionado ao risco de gerar descendentes com a forma homozigota “mm”, portanto míopes, tornando-se importante neste contexto o aconselhamento genético destes indivíduos, visando o esclarecer e orientar quanto a probabilidade da geração de filhos de casais onde ambos são portadores do gene causador da miopia.

Por fim, ressaltamos a importância do uso desse tipo de representação didática, pois permitiu que os licenciandos relacionassem a teoria à prática, proporcionando autonomia na construção dos conhecimentos e se constituindo em uma ferramenta pedagógica que pode ser utilizada pelo docente como tema de pesquisa científica, tornando o conhecimento mais atrativo e acessível aos licenciandos, pois, permitiu uma melhor visualização e aproximação dos conceitos utilizados. Espera-se que atividades com esse tipo de metodologia sejam mais abordadas e praticadas, de maneira a tornar o ensino de genética mais motivador e dinâmico, atraindo ainda mais a curiosidade e tornando os alunos mais presentes e participativos nas salas de aula.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBERTS, B; JOHNSON, A; LEWIS, J; RAFF, M; ROBERTS, K; WALTER P. *Biologia Molecular da Célula*, 5ª edição, Porto Alegre: Artmed, 2010.
- BEIGUELMAN, B. *Genética de Populações Humanas*. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 2008. 235 p.
- BRASIL. Ministério da Educação e do Desporto. *Parâmetros Curriculares Nacionais: Ciências Naturais*. Brasília: MEC/SEF, 1997.
- BORGES, R. M. R; LIMA, V. M. R. Tendências contemporâneas do ensino de biologia no Brasil. *Revista Eletrônica de Enseñanza de las Ciencias*, Chile, v. 6, n. 2, p. 299-309, 2007.
- CAVALCANTE, D. & SILVA, A. Modelos didáticos e professores: concepções de ensino aprendizagem e experimentações. In: XIV Encontro Nacional de Ensino de Química, Curitiba, UFRP, julho de 2008.
- CAVALLI-SFORZA L. L., MENOZZI P., PIAZZA A. *The history and geography of human genes*. Princeton University Press, 1994.
- DURBANO, J. P. M.; PADILHA, I. Q. M.; RÊGO, T. G.; RODRIGUES, P. A. L.; ARAÚJO, D. A. M. Percepção do conhecimento dos alunos de ensino médio do município de João Pessoa sobre temas emergentes em biotecnologia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GENÉTICA, 54., 2008, Salvador. Anais... Salvador: SBG, 2008.
- DUSO, L. O uso de modelos no ensino de Biologia. *Anais do XVI Encontro Nacional de Didática e Práticas de Ensino - XVI ENDIPE*, p. 1-10, 2012.
- DUSO, L.; CLEMENTE, L.; PEREIRA, P. B. e ALVES FILHO, J. P. Modelização: uma possibilidade didática no ensino de Biologia. *Revista Ensaio*, v.15, n. 2, p. 29-44, 2013.
- FERREIRA, J. C.; ALMEIDA, S. A. O pensar e o fazer modelos didáticos por alunos de licenciatura em Biologia. *Atas do IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – IX ENPEC*, p. 1-8, 2013.
- GARDNER, E. J.; SNUSTAD, D. P. *Genética*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1986.
- GRIFFITHS, A. J. F; WESSLER, S. R; LEWONTIN, R. C.; CARROLL, S. B. *Introdução à Genética*. 11ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2016.
- GRIFFITHS AJF, MILLER JH, SUZUKI DT, LEWONTIN RC, GEL-BART WM. 2009. *Introdução à Genética*. 8ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 794p.
- GUIMARÃES, E. M.; FERREIRA L. B. M. O uso de modelos na formação de professores de Ciências. 2º ENCONTRO REGIONAL SUL DE ENSINO DE BIOLOGIA, 3ª JORNADA DE LICENCIATURA EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS DA UFSC. Anais... Florianópolis, novembro de 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. Arquivos 83 do Museu Dinâmico Interdisciplinar, Maringá, v.10, n.2, p.35-40, 2006.

KRASILCHIK, M.; MARANDINO, M. Ensino de Ciências e cidadania. São Paulo: Moderna, 2004.

KRASILCHIK, M. Prática de Ensino de Biologia. USP, São Paulo, 2012.

KRAUSE, F. C. Modelos Tridimensionais em Biologia e Aprendizagem Significativa na Educação de Jovens e Adultos (EJA) no Ensino Médio. 186 f. Dissertação (Mestrado em Educação) – Universidade de Brasília, Faculdade de Educação, Brasília, DF, 2012.

KLUG, W.; CUMMINGS, M. R.; SPENCER, C. A.; MICHAEL, A. P. Conceitos de Genética. 9ª ed. Porto Alegre, Artmed, 2010.

LARENTIS, L. T.; AMANCIO, J. S.; GHISI, N. C. Uma abordagem prática para o ensino de genética: mapas genéticos. Arquivos do Mudi, 24(1), 96-106. (2020).

LIMA, M. M. O. et al. (2020). Practical Biology activities: an investigative teaching sequence about the cell cycle. Research, Society and Development, 9(9), 1-22.

LUZ, J. R. D. *et al.* O uso de desenhos no estilo mangá como Ferramenta didático-pedagógica para o Ensino de bioquímica. 2019. In: MONTEIRO, S. A. S. Pensando as licenciaturas. Atena Editora: Ponta Grossa, PR, 2019.

MADUREIRA, H. C. et al. O uso de modelagens representativas como estratégia didática no ensino da biologia molecular: entendendo a transcrição do DNA. Revista Científica Interdisciplinar. V. 3, n. 1, p. 17-25, jan/mar. 2016.

MATOS, C. H. C; OLIVEIRA, C. R. F.; SANTOS, M. P. F. e FERRAZ, C. S. Utilização de Modelos Didáticos no Ensino de Entomologia. Revista de Biologia e Ciências da Terra, v. 9, n. 1, 2009.

MEDEIROS, M. O.; ALVES, S. M.; KIMURA, M. T.; SOUZA, E. A. Proposta de modelo didático como facilitador do ensino de genética de populações no Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas da UFR/MT. Biodiversidade - v.20, n.2, 2021a - pág. 215 – 235.

MEDEIROS, M. O.; ALVES, S. M.; KIMURA, M. T.; SOUZA, E. A. Utilização prática de um modelo didático simulando uma técnica de bandas do DNA para estudo comparativo do vínculo genético humano aplicado aos estudantes de Licenciatura em Ciências Biológicas da UFR/MT. Revista Biodiversidade - v.20, n.3, 2021b - pág. 49 - 71.

MEDEIROS, M. O.; ALVES, S. M.; KIMURA, M. T.; SOUZA, E. A. O uso de modelo representativo aplicado no curso de Licenciatura em Ciências Biológicas da UFR/MT de como a seleção natural age sobre as variações genéticas do inseto após o uso de inseticida. Revista Biodiversidade - v.21, n.1, 2022a - pág. 182 – 207.

MEDEIROS, M. O.; ALVES, S. M.; KIMURA, M. T. O uso de representações didáticas como suporte a aprendizagem de probabilidades aplicadas ao estudo da genética no curso de

Licenciatura em Ciências Biológicas da UFR/MT. Revista Biodiversidade - v.21, n.2, 2022b - pág. 83 – 109.

MEDEIROS, M. O.; ALVES, S. M.; KIMURA, M. T. Modelo didático aplicado no curso de Licenciatura em Ciências Biológicas da UFR/MT para a compreensão da interação entre a análise combinatória e o estudo genético de uma ninhada de *Athene cunicularia* (coruja-buraqueira). Revista Biodiversidade - v.21, n.3, 2022c - pág. 2 – 25.

MEDEIROS, M. O.; ALVES, S. M.; KIMURA, M. T. Modelo didático aplicado no curso de Licenciatura em Ciências Biológicas da UFR/MT para o estudo de genética de populações ligado ao caso de alelismo múltiplo que envolve a cor da pelagem em coelhos – *Oryctolagus cuniculus*. Revista Biodiversidade - v.21, n.4, 2022d - pág. 2 – 23.

MEDEIROS, M. O.; ALVES, S. M.; KIMURA, M. T. Modelo didático aplicado no curso de Licenciatura em Ciências Biológicas da UFR/MT para interpretação genotípica do tipo sanguíneo deduzido pela sequência hipotética de DNA. Revista Biodiversidade - v.22, n.1, 2023 - pág. 33 – 52.

MEDEIROS, M. O.; ALVES, S. M.; KIMURA, M. T. Aplicação de modelo didático para identificação genética do sexo em tucanos com a utilização de enzima de restrição na análise de sequenciamento de DNA. Revista Biodiversidade - v.22, n.2, 2023 - pág. 80 – 94.

MEDEIROS, M. O.; ALVES, S. M.; KIMURA, M. T. Aplicação de modelo didático de cadeias de DNA de produtos alimentares vegetais para verificar se nas informações de seus materiais genéticos existem trechos de nucleotídeos exógenos que possa caracterizar provas de manipulação genética. Revista Biodiversidade - v.22, n.3, 2023 - pág. 210 – 229.

MEDEIROS, M. O.; ALVES, S. M.; KIMURA, M. T. Utilização prática de um modelo didático simulando aplicações do sequenciamento de DNA e sua importância no reconhecimento das relações de parentesco entre bebês recém-nascidos e parturientes. Revista Biodiversidade - v.22, n.4, 2023 - pág. 65 – 86.

MEDEIROS, M. O.; ALVES, S. M.; KIMURA, M. T. Aplicação de modelo didático simulando uma análise de DNA para Investigação da ocorrência da anemia falciforme em um grupo familiar. Revista Biodiversidade - v.23, n.1, 2024 - pág. 63 – 86.

MENDONÇA, C. O. e SANTOS, M. W. O. Modelos didáticos para o ensino de Ciências e Biologia: aparelho reprodutor feminino da fecundação à nidação. Anais do V Colóquio Internacional "Educação e Contemporaneidade", v. 5, p. 1-11, 2011.

NATIONAL HUMAN GENOME RESEARCH INSTITUTE (NIH). Polymerase Chain Reaction (PCR) Fact Sheet. 2020.

Nussbaum, R. L., McInnes, R. R., Willard, H. F. Thompson & Thompson: Genética médica. 6ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2002. 640 p.

OLIVEIRA, M. S.; KERBAUY, M. N.; FERREIRA, C. N. M; SCHIAVÃO, L. J. V; ANDRADE, R. F. A; SPADELLAI, M. A. Uso de material didático sobre Embriologia do Sistema Nervoso: Avaliação dos Estudantes. Revista Brasileira de Educação Médica, v. 36, n. 1, p. 83-92, 2012.

OLMO, F. J. V.; MARINATO, C. S.; GADIOLI, A. O.; SILVA, R. V. Construção de modelo didático para o ensino de biologia: meiose e variabilidade genética. Enciclopédia Biosfera, Goiânia, v. 10, nº 18, 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, n. 1, p. 1 – 17, 2009.

PIERCE BA. 2004. Genética: um enfoque conceitual. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 758p.

REIS, I. A.; NASCIMENTO, G. S. V.; GUIMARÃES, D. M.; BEZERRA, G. L. S.; NASCIMENTO, S. B. M.; ALENCAR, I. C. C. e AMADO, M. V. O ensino de Biologia sob uma perspectiva CTSA: análise de uma proposta pedagógica de uso de modelos didáticos da divisão celular. Atas do IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – IX ENPEC, p. 1-8, 2013.

SANTOS, C, F. et. al. Reverse transcription and polymerase chain reaction: principles and applications in dentistry. Journal of Applied Oral Science. v.12. n.1. Bauru, 2004.

SETÚVAL, F. A. R.; BEJARANO, N. R. R. Modelos didáticos com conteúdo de genética e a sua importância na formação inicial de professores para o ensino de ciências e biologia. In: Encontro Nacional de pesquisa em Educação em Ciências, 7, 2009, Florianópolis. Anais... Florianópolis: ABRAPEC, 2009.

SILVA, J. S.; SARAIVA, E. S. The importance of didactic sequence (SD) in environmental education: an experience report at the Monsenhor Boson Full-Time Education Center. Research, Society and Development, 9(6), 1-14. (2020).

SNUSTAD DP, SIMMONS MJ. 2008. Fundamentos de Genética. 4ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 903p.

SOUSA, E. S.; JUNIOR NUNES, F. H.; CAVALCANTE, C. A. M. & HOLANDA, D. A. S. A Genética em sala de aula: uma análise das percepções e metodologias empregadas por professores das escolas públicas estaduais de Jaguaribe, Ceará. Conex. Ci. e Tecnol, 10(4), 16 - 24. (2016).

SOUZA, P. F.; FARIA, J. C. N. M. A. Construção e avaliação de modelos didáticos para o ensino de ciências morfológicas - uma proposta inclusiva e interativa. Enciclopédia Biosfera, v.7, n.13, p.1550- 1561, 2011.

TEMP, D. S. Facilitando a aprendizagem de genética: uso de um modelo didático e análise dos recursos presentes em livros de biologia. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências: Química da vida e Saúde). UFSM, Santa Maria, 2011. 85 fls.

TEMP, D. S.; BARTHOLOMEI-SANTOS, M. L. Desenvolvimento e uso de um modelo didático para facilitar a correlação genótipo-fenótipo. Revista Electrónica de Investigación em Educación en Ciencias-REIEC. V. 8 N .2. 2013.

TORGGLER, M. G. F.; CONTEL, E. P. B.; TORGGLER, S. P. Isoenzimas – Variabilidade genética em plantas. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1995, p. 186.

VINHOLI JÚNIOR, A. J.; PRINCIVAL, G. C. Modelos Didáticos e Mapas Conceituais: Biologia Celular e as Interfaces com a Informática Em Cursos Técnicos do IFMS. HOLOS. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso do Sul, Ano 30, v. 2, p. 110-122, 2014.

VENTER, J. C. A part of the human genome sequence. Science, California, v. 299, p. 1183-1184, 2003.

WATSON, James D.; BELL, Stephen P.; BAKER, Tania A. Biologia molecular do gene. 7ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.