

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

Mauro Osvaldo Medeiros¹
Sueli Maria Alves¹
Marcelo Teiji Kimura²
Elza Amélia de Souza¹

RESUMO: Os modelos didáticos vêm sendo úteis no ensino-aprendizagem de difícil entendimento como é o caso dos conteúdos de genética molecular. Dessa forma, o objetivo dessa prática foi demonstrar através de um modelo representativo, como a técnica de eletroforese de bandas do DNA pode ser utilizada na identificação da variabilidade genética entre pessoas e, como isso pode ser utilizado em exames de paternidade e maternidade, e assim, propiciar aos professores e alunos a utilização de materiais alternativos no ensino da genética molecular. Aplicou-se aos estudantes do 4º semestre do Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas do Instituto de Ciências Exatas e Naturais, da Universidade Federal do município de Rondonópolis no Estado de Mato Grosso, uma atividade de modelagem e de questões com base na proposição da seguinte situação-problema: Um homem que era viúvo e atualmente casado com uma mulher divorciada constituíram uma família com seis filhos, entre os quais dois são filhos biológicos do casal, dois são filhos desta mulher com outro pai, um é filho biológico deste pai com outra mulher e um outro filho é adotivo. Conclui-se que foram vários os benefícios alcançados pela utilização da representação didática abordando o conteúdo de identificação pessoal e da verificação de vínculo genético entre indivíduos, utilizando a parte experimental da investigação do exame em DNA.

Palavras-chaves: Eletroforese; Ascendência; Licenciatura; recursos alternativos.

PRACTICAL USE OF A DIDACTIC MODEL SIMULATING A DNA BANDS TECHNIQUE FOR THE COMPARATIVE STUDY OF THE HUMAN GENETIC LINK APPLIED TO UNDERGRADUATE STUDENTS IN BIOLOGICAL SCIENCES AT UFR/MT

ABSTRACT: Didactic models have been useful in teaching-learning that are difficult to understand, as is the case with the contents of molecular genetics. Thus, the objective of this practice was to demonstrate, through a representative model, how the technique of DNA band electrophoresis can be used in the identification of genetic variability between people and, how it can be used in paternity and maternity tests, and so , provide teachers and students with the use of alternative materials in teaching molecular genetics. It was applied to students of the 4th semester of the Licentiate Course in Biological Sciences of the Institute of Exact and Natural Sciences, of the Federal University of the municipality of Rondonópolis in the State of Mato Grosso, a modeling activity and questions based on the proposition of the following situation -problem: A man who was widowed and currently married to a divorced woman formed a family with six children, among which two are the couple's biological children, two are this woman's children with another father, one is this father's biological child with another woman and another child is adopted. It is concluded that there were several benefits achieved by the use of didactic representation addressing the content of personal identification and the verification of genetic link between individuals, using the experimental part of the investigation of the DNA test.

Keywords: Electrophoresis; Ancestry; Graduation; alternative resources.

¹Professor Associado do Dep. Biologia ICEN/CUR/UFMT. (*) mauroosvaldo@bol.com.br; sumalves@bol.com.br; souza08@bol.com.br

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

INTRODUÇÃO

O Curso de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Rondonópolis do Estado de Mato Grosso desenvolve pesquisa em ensino envolvendo a troca constante de informações, através do processo de ensino e aprendizagem. E os modelos didáticos vem sendo úteis no ensino-aprendizagem de difícil entendimento como é o caso dos conteúdos de genética molecular. De acordo com Silva (2015) os alunos aprendem mais quando se utilizam imagens e sons, pois, relaciona, por meio desses artefatos tecnológicos, certos conteúdos curriculares ou situações de aprendizagem com sons ou imagem.

O ensino de genética molecular por se tratar de estruturas microscópicas, muitas vezes torna-se de difícil compreensão para os alunos e, se não for ministrado fazendo uso de práticas diferenciadas pode ocasionar o desinteresse do aluno pelo conteúdo. Assim a utilização de modelos didáticos permite aos alunos terem o contato inicial com estas estruturas microscópicas de forma ampliada, permitindo que eles observem, explorem, manipulem e construam seus conhecimentos a partir da prática.

Segundo Zabala (1998) as sequências didáticas são, um conjunto de atividades ordenadas, estruturadas e articuladas para a realização de certos objetivos educacionais, que tem princípio e fim conhecidos tanto pelos professores como pelos alunos”.

Matos et al., (2009) relataram que as vantagens em utilizar modelos didáticos são inúmeras, elas viabilizam que o aluno seja construtor do seu próprio conhecimento, e não apenas seja receptor das informações teóricas, deixando as aulas mais dinâmicas e produtivas, facilitando o aprendizado. E segundo Giordan & Vecchi (1996) permite a materialização de uma idéia e/ou conceito, tornando mais assimilável. E de acordo com Cavalcante & Silva (2008), viabiliza a experimentação e “possibilita a compreensão dos conceitos, o desenvolvimento das habilidades, competências e atitudes”. Orlando et al. (2009) afirmaram que o uso de modelos didáticos ajuda na compreensão e no aprendizado de processos biológicos, estimulando a curiosidade e a participação efetiva dos alunos. Assim, pelo lado visual, esses modelos permitem que o estudante manipule o material, visualizando-o de vários ângulos, melhorando, assim, sua compreensão sobre o conteúdo abordado.

Para o desenvolvimento desta atitude científica torna-se fundamental o envolvimento dos alunos na planificação e execução de experiências e pesquisas. Assim, deve ser oferecida aos alunos a possibilidade de realizarem atividades investigativas que lhes permitam apropriarem-se dos processos científicos para construir conceitos e ligações entre eles de forma a compreenderem os fenômenos e os acontecimentos observados e, deste modo, contribuir para um melhor conhecimento, compreensão e domínio do mundo que os rodeia. Dessa forma, infere-se que são necessárias metodologias que despertem a criatividade, imaginação e a curiosidade pela ciência presente na vida dos alunos nas atividades escolares.

A aplicação da técnica de eletroforese de bandas permite identificar o código genético das pessoas pela análise de suas moléculas de DNA ou ácido desoxirribonucleico, substância que constitui os genes. Com exceção dos gêmeos univitelinos, cada pessoa possui um conjunto de genes e, portanto, de moléculas de DNA, único e particular. O padrão de bandas que surge é característico para cada pessoa, e corresponde à sua “impressão digital” genética.

Este código está presente em cada uma das nossas células, com 46 cromossomos e, todas as informações são codificadas pelo nosso DNA, o ácido desoxirribonucleico que tem um formato de dupla hélice, sendo formado por quatro bases que se juntam aos pares: adenina com timina e citosina com guanina (DOLINSKY et al, 2007)

Sabendo das dificuldades enfrentadas pelos alunos para aprender genética molecular, em consequência do modo tradicional do ensino, é interessante utilizar outras metodologias que ajudem não apenas o conceito mudar o termo de “Genética Molecular é difícil”, mas também, motivar os alunos a gostarem mais da disciplina.

Nesse contexto temos como metodologia a utilização de modelos didáticos no ensino, que são consideradas ferramentas bastante sugestivas e eficazes para prática pedagógica, que além de facilitarem o conhecimento, permitem ao professor despertar o interesse dos alunos tornando a aula mais prazerosa e motivando-os a participarem e se envolverem no processo de ensino e aprendizagem (AMORIM, 2013; CALDERANO et al., 2014; LIMA & CAMAROTTI, 2015; PEREIRA et al., 2015; MADUREIRA et al., 2016; MEDEIROS et al., 2021).

Dessa forma, o objetivo dessa prática foi demonstrar através de um modelo representativo, como a técnica de eletroforese de bandas do DNA pode ser utilizada na investigação da variabilidade genética entre pessoas e, como isso pode ser utilizado em exame de paternidade e maternidade, e assim, propiciar aos professores e alunos a utilização de materiais alternativos no ensino da genética molecular.

MATERIAL E MÉTODOS

Esse estudo foi uma pesquisa quanti-qualitativa de natureza estruturada, desenvolvido na Universidade Federal do município de Rondonópolis do Estado de Mato Grosso. 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 realização desse estudo 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:

Na primeira aula (50 min) foi composta pela parte introdutória (aula teórica) do tema abordado, de maneira que os alunos pudessem se contextualizar, compreender e envolver com o tema relacionado.

Na segunda aula (50 min) foi aplicado uma simulação para investigação do vínculo genético entre oito pessoas (Figura 1) e um questionário em anexo sobre o tema.

Modelo didático proposto simulando o exame de DNA

O modelo didático (Figura 1) foi elaborado após vários estudos, com representações didáticas e fontes de informações, que fossem, para os professores de 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 em um gráfico que simula o padrão eletroforético de oito pessoas. Os fragmentos de DNA que estavam distribuídos em faixas por ordem de tamanho, retratavam as diferenças genotípicas entre as oito pessoas.

Apresentação da situação-problema

A Situação-problema apresentada teve como temática a genética molecular aplicada ao uso do exame de DNA em teste de identificação de vínculo genético familiar. O tema foi escolhido por ser um assunto de uso comum dos estudantes e por possibilitar uma correlação estreita com conhecimento científico trabalhado na disciplina de genética. Foi dada ênfase ao teste de vínculo familiar para que fossem trabalhados conceitos ligados à genética molecular, tais como, estrutura da molécula de DNA e sua localização na célula, bases da hereditariedade, enzimas de restrição, PCR e informações que envolvem temas de interesse social como o uso

das tecnologias de manipulação do DNA empregadas no dia-a-dia. Além disso, comentar sobre a importância da construção coletiva do conhecimento científico.

A Situação-Problema proposta foi a seguinte: Um homem que era viúvo e atualmente casado com uma mulher divorciada constituíram uma família com seis filhos, entre os quais dois são filhos biológicos do casal, dois são filhos desta mulher com outro pai, um é filho biológico deste pai com outra mulher e um outro filho é adotivo. A Figura 1 representa o modelo didático pronto, no qual são ilustrados os seguintes indivíduos: Pai, Mãe, F1, F2, F3, F4, F5 e F6.

Exame de DNA

O exame de DNA, também chamado de teste de DNA ou, ainda, de mapeamento genético, é um procedimento laboratorial que compara amostras de material genético de indivíduos diferentes. A partir dessa análise, é possível determinar graus de semelhança entre as amostras coletadas e, dessa forma, pode ser utilizado para comprovar o parentesco, geralmente a paternidade, entre dois indivíduos.

O teste de paternidade é utilizado como prova do vínculo biológico entre indivíduos, principalmente em questões judiciais, como reivindicação de herança, direitos paternos, benefícios sociais, entre outras.

O grau de confiabilidade do exame de DNA é bastante alto, estabelecendo uma certeza de 99,9% de que o resultado encontrado esteja correto.

Estratégia de resolução da situação-problema

A estratégia de resolução da situação-problema foi a aplicação de um experimento com caráter investigativo. A atividade utilizada foi desenvolvida através de uma representação esquemática de um gel de eletroforese retratando os resultados da análise feita com oito amostras diferentes coletadas de material biológico para investigação de vínculo genético entre oito pessoas (Figura 1).

Nessa eletroforese, os fragmentos de DNA inseridos no gel, foram submetidos a uma diferença de potencial, migrando do polo negativo para o polo positivo. Isso ocorreu porque as moléculas de DNA possuem carga negativa. Os fragmentos menores migraram com mais rapidez, avançando mais, e os maiores migraram mais lentamente, avançando menos. Dessa forma, foi possível separar os fragmentos de DNA de acordo com os respectivos tamanhos, determinado pelo número de pares de bases.

Leitura de alelos e identificação do código genético individual

Para a determinação genotípica dos indivíduos: Pai, Mãe, F1, F2, F3, F4, F5 e F6, foi proposto que a nomenclatura dos alelos deva ser baseada no número de repetições: o número que denomina o alelo representa o número de repetições (Pb) presente no mesmo. Por exemplo, o alelo com 50 repetições (Pb) é denominado alelo 50.

Os alelos (Pb) foram identificados por ordem crescente de tamanho, definida pela migração eletroforética. Os alelos dos indivíduos: Pai, Mãe, F1, F2, F3, F4, F5 e F6, foram comparados lado a lado, de acordo com seu tamanho e a leitura de seus alelos foi anotada.

Marcadores alélicos (Pb)	Padrão								
		Pai	Mãe	F1	F2	F3	F4	F5	F6
220	<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>				
210	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					<input type="checkbox"/>
200	<input type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>		
190	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>				
180	<input type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>		
170	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
160	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>					
150	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>						
140	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
130	<input type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
120	<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>				
110	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>					
100	<input type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
90	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>
80	<input type="checkbox"/>							<input type="checkbox"/>	
70	<input type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
60	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>			
50	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
40	<input type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
30	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>					<input type="checkbox"/>	
20	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
10	<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>	

Figura 1. Modelo didático de perfil eletroforético confeccionado com perspectivas de utilização no processo de ensino e aprendizagem de genética molecular, mostrando a localização dos genes alelos relativos a identificação biológica do Pai, Mãe, F1, F2, F3, F4, F5 e F6. (Fonte: Os autores, 2021).

No caso, para a avaliação do índice de identificação baseou-se em um único parâmetro: foram verificados a proporção x de marcadores alélicos de 10 a 220 que são compartilhadas entre os perfis genéticos (padrão) previamente obtidos dos indivíduos F1, F2, F3, F4, F5 e F6 com os do Pai e da Mãe. O índice final de compartilhamento de marcadores alélicos será proporcional quando calculado para os pares Pai e Mãe. As Tabelas foram ferramentas muito utilizadas, organizando os dados das questões que foram propostas e apresentando informações claras e objetivas quanto aos marcadores alélicos (genes alelos), classes fenotípicas e classes genotípicas.

Questões para discussão e aprofundamento teórico da prática experimental

As questões selecionadas para avaliar os conhecimentos adquiridos pelos alunos sobre o tema em estudo foram pesquisadas em livros e adaptadas de modo que aceitassem diferentes respostas, possibilitando a formação de conjecturas por parte dos alunos. O fato de estarem sentados em grupos teve como intenção possibilitar a troca de idéias e o refinamento das conjecturas, ou seja, o teste às hipóteses formuladas.

Cada aluno recebeu previamente o material da aula, podendo utilizar os esquemas e resumos da explicação expostos no quadro.

Após analisar o resultado que está esquematizado na imagem da Figura 1, foi solicitado aos alunos que respondessem as seguintes questões:

Questão 1. Cada coluna do gráfico (Figura 1) simula o padrão eletroforético de uma pessoa, onde os fragmentos de DNA se distribuem em faixas por ordem de tamanho. Com base no teste de DNA dos oito implicados, Pai, Mãe, F1, F2, F3, F4, F5 e F6, pinte de cor azul a imagem das bandas (marcadores alélicos) que são correspondentes ao padrão de características relacionadas a mãe e de cor verde as de padrão relacionadas ao pai.

Questão 2. Sabendo-se que, cada coluna do gráfico (Figura 1) simula o padrão eletroforético de uma pessoa, onde os fragmentos de DNA se distribuem em faixas por ordem de tamanho. Quantas imagens de bandas (marcadores alélicos), podem ser observadas para comparar individualmente o Pai, a Mãe e os filhos F1, F2, F3, F4, F5 e F6? Justifique.

Questão 3. Com base na análise de cada coluna e no padrão de bandas da figura 1. Quais foram os tamanhos dos diferentes fragmentos amplificados nessas oito pessoas (Pai, Mãe, F1, F2, F3, F4, F5 e F6)? Cada um desses fragmentos poderia ser considerado um alelo?

Questão 4. Considerando o padrão de organização gênica das bandas de DNA simuladas na região "código de barras" (barcoding) de F1, F2, F3, F4, F5 e F6. Quais filhos não possuem nenhum vínculo genético de parentesco com esse Pai? Justifique.

Questão 5. Considerando o padrão de organização gênica das bandas de DNA simuladas na região "código de barras" (barcoding) de F1, F2, F3, F4, F5 e F6. Quais filhos não possuem nenhum vínculo genético de parentesco com essa Mãe? Justifique.

Questão 6. Em relação a paternidade e maternidade dos filhos: F1, F2, F3, F4, F5 e F6. Quais filhos podem ser vinculados geneticamente como filhos biológicos desse Pai com essa Mãe? Justifique as evidências da investigação.

Questão 7. Em relação a paternidade dos filhos: F1, F2, F3, F4, F5 e F6. Quais filhos mostram possibilidade de existir efetiva confirmação de descendência entre esse Pai em conexões genéticas com outra mulher? Justifique as evidências da investigação.

Questão 8. Em relação a maternidade dos filhos: F1, F2, F3, F4, F5 e F6. Quais filhos mostram possibilidade de existir efetiva confirmação de descendência entre essa Mãe em conexões genéticas outro homem? Justifique as evidências da investigação.

Questão 9. Em relação a paternidade e maternidade dos filhos: F1, F2, F3, F4, F5 e F6. Qual filho mostra impossibilidade de existir conexões de descendência genética associada a esse casal? Justifique as evidências da investigação?

Questão 10. Qual seria o grau de porcentagem dos testes de vínculo genético baseados no exame de DNA para que qualquer dos indivíduos F1, F2, F3, F4, F5 e F6 fosse identificado como um descendente biológico desse casal?

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Práticas experimentais alternativas de fácil acesso são empregadas cada vez mais nas escolas e Universidades que não dispõem de recursos financeiros adequados. Uma prática que faz parte do cotidiano dos alunos é o exame de DNA, por ser divulgado em programas de televisão de investigação criminal, bem como nos testes de paternidade.

O trabalho proposto foi realizado como atividade complementar as atividades planejadas. Antes da aplicação do recurso didático o conteúdo foi introduzido em uma aula expositiva dialogada. Após a aula teórica, cada aluno recebeu previamente um modelo didático ilustrando o perfil eletroforético de oito pessoas (Figura 1) impresso em uma folha em papel sulfite A4 com um roteiro de 10 questões para execução da atividade, no qual, os discentes poderiam se organizar em grupos ou não.

As 10 questões selecionadas referentes a Figura 1, foram um dos pilares da sequência didática e teve como objetivo, avaliar os conhecimentos adquiridos pelos alunos sobre o tema em estudo.

Após a observação e análise do perfil eletroforético das oito pessoas (Figura 1), o questionário foi respondido individualmente, com o objetivo de entender as percepções dos alunos referentes à atividade desenvolvida. Com base na intervenção realizada e nos materiais de pesquisa, pode-se fazer diversos apontamentos, que foram analisados e discutidos.

O modelo didático foi uma ferramenta construída para facilitar o entendimento da correlação genes alelos-genótipo relativos a Pai, Mãe, F1, F2, F3, F4, F5 e F6. Através do perfil eletroforético esquematizado (Figura 1), foram construídas tabelas e figuras, associando cada indivíduo a um padrão com seis bandas (marcadores alélicos) de DNA, cada uma das bandas representando um alelo do mesmo gene.

Discussão dos resultados das questões

A pesquisa desenvolvida neste trabalho realizou-se com base na aplicação e interpretação de um questionário composto por dez questões subjetivas, onde o aluno dissertou com suas próprias palavras, acerca da questão. E a seguir são demonstradas as respostas consideradas corretas:

Resolução da Questão 1.

Com relação à pergunta da questão 1, que pretendeu verificar se os alunos conseguiram perceber as relações quanto transmissão do material genético entre pais e filhos, as respostas são apresentadas em forma gráfica (Figura 2).

A Figura 2 representa o modelo didático pronto, no qual são ilustradas as principais características a serem consideradas na análise de DNA relativos ao Pai, Mãe, F1, F2, F3, F4, F5 e F6. Basicamente, essas análises envolvem o padrão de características que representam o genótipo de cada indivíduo. As bandas que foram preenchidas na cor azul, verde e branca simbolizam os genes alelos que foram herdados. Dessa forma, evidenciou-se o genótipo do pai com os retângulos coloridos em verde e da mãe, coloridos em azul.

Para o reconhecimento da existência de uma associação biológica entre o padrão genotípico dos ascendentes (Pai e Mãe) e das amostras dos descendentes (F1, F2, F3, F4, F5 e F6), foram consideradas as intersecções dos alinhamentos, relativos aos marcadores alélicos com as faixas de mesmos números na coluna vertical numeradas de 10 a 220, com as linhas horizontais de mesmo número. Estes fatos serviram como referência para mostrar as posições dos genes que identificavam os genótipos da Mãe e do Pai. Para a análise do grau de parentesco com F1, F2, F3, F4, F5 e F6 foi feita verificação da incidência de bandas (marcadores alélicos). Sendo coincidentes as bandas do pai da mãe e do filho, a paternidade e a maternidade foram conclusivas.



Figura 2. Bandas do gel de eletroforese que compara o DNA dos filhos F1, F2, F3, F4, F5 e F6 com o DNA do Pai e da Mãe. Faixas numeradas e marcadas, respectivamente, em azul ou verde (alelos) são associadas ao conjunto de características hereditárias ou padrões fenotípicos da Mãe e do Pai e branco a outro homem ou mulher. (Fonte: Os autores, 2021).

Resolução da Questão 2.

No caso relacionado à pergunta da questão 2, a Figura 2 apresenta de forma gráfica a estrutura que representa a relação de parentesco entre indivíduos em estudo.

Analisando as bandas do gel de eletroforese que compara o DNA dos filhos: F1, F2, F3, F4, F5 e F6 com o DNA do pai e da mãe, verificou-se que, na primeira coluna estão organizados os fragmentos representativos de um gel de agarose obtidos por ordem de tamanho (Pb), sendo que o tamanho dos fragmentos variou de 10 a 220 pares de nucleotídeos (Pb), demonstrando 22 marcadores alélicos padrão (bandas) referentes a sequências hipervariáveis, que são equivalentes as identificações genotípicas encontradas no Pai, Mãe, F1, F2, F3, F4, F5 e F6 e que são critérios determinante para esclarecer a associação dos genes na classificação de grau de parentesco. Esses marcadores alélicos baseiam-se na identificação de trechos do DNA cujas sequências repetidas de nucleotídeos são exclusivas para cada pessoa e sendo transmitidas de pais para filhos de acordo com herança mendeliana. A segunda coluna simula o padrão eletroforético de todas as pessoas envolvidas, onde os fragmentos de DNA se distribuem em faixas por ordem de tamanho. Cada uma das oito colunas verticais seguintes refere-se a uma amostra de DNA, para comparação, simulando o padrão eletroforético do Pai, Mãe, F1, F2, F3, F4, F5 e F6, onde os fragmentos de DNA se distribuem em faixas por ordem de tamanho,

possuindo apenas diferenças no seu comprimento, e que são herdados de maneira mendeliana, sendo que, cada um desses fragmentos pode ser chamado de alelo.

Diante do já exposto, verificou-se um total de 22 imagens de bandas (Marcadores alélicos):10/20/30/40/50/60/70/80/90/100/110/120/130/140/150/160/170/180/190/200/210/220. E de acordo com esse número de imagens de bandas apresentadas é possível observar que cada pessoa envolvida, é identificada por seis imagens de bandas. Esse padrão de seis bandas que foi investigado é característico para cada pessoa, e corresponde aos seus conjuntos de genes ou à sua identificação genética. Os marcadores alélicos que mostram ligações entre as oito pessoas analisadas em termos genealógicos, foram artificialmente coloridos em azul, os maternos e em verde, os paternos para facilitar a compreensão (Figura 2).

Os marcadores alélicos (Pb) foram utilizados para referir-se as diferentes formas alternativas de um gene que ocupam a mesma posição em cromossomos homólogos existentes nos indivíduos: Pai, Mãe, F1, F2, F3, F4, F5 e F6, que pertencem a uma mesma família. Essa variabilidade de marcadores alélicos (bandas) determina as diferentes características entre esses indivíduos, ou seja, é responsável por propiciar as **variações fenotípicas** entre eles.

Resolução da Questão 3.

No caso relacionado à pergunta da questão 3, a Tabela 1, mostra o resultado da obtenção dos perfis genéticos contendo as identificações genotípicas de cada indivíduo.

Para isso, esse estudo apoiou-se na observação direta de cada coluna do gráfico (Figura 1 e 2) onde do lado esquerdo é observado uma régua numerada de 10 a 220, que representa os genes relativos ao patrimônio hereditário, que busca esclarecer relação dos genes entre os ancestrais (Pai e Mãe) e os descendentes (F1, F2, F3, F4, F5 e F6). Os fragmentos de DNA que se distribuem em faixas por ordem numérica de tamanho nas colunas (Figuras 1 e 2), visam esclarecer as identidades genotípicas de cada um dos indivíduos (Tabela 1) critério determinante na classificação de grau de parentesco.

Faz-se importante mencionar que cada indivíduo tem uma combinação genética exclusiva, o que permite uma diferenciação inequívoca destes indivíduos. Portanto, o Pai é vinculado aos marcadores alélicos cujo tamanho dos fragmentos variou de pares de bases de nucleotídeos de 20/60/110/140/160/190, a Mãe de 30/50/90/150/170/210, F1 de 50/60/90/110/160/210, F2 de 10/20/120/140/190/220, F3 de 20/50/60/90/140/170, F4 de 40/70/100/130/180/200, F5 de 10/30/50/80/130/170 e F6 de 40/50/70/90/100/210. A leitura biológica desses códigos, determina a identidade genética de um indivíduo. Portanto, o simples código do DNA possibilita uma enorme variedade de arranjos, sujeitos à quantidade e ordenamento de bases nitrogenadas, formando um gene e esse manifestando uma característica.

Quando associamos os números (marcadores alélicos), que expressam a identificação genotípica de cada indivíduo, verificamos que esses marcadores alélicos (faixas ou genes) observados são únicos para cada pessoa e por isso eles são chamados de impressão digital de DNA **ou** impressão digital genética. Assim, cada pessoa tem um padrão específico de marcadores alélicos e esse padrão é herdado de seus pais.

Em suma, podemos dizer que esses conjuntos de marcadores alélicos se referem aos genes encontrados em um indivíduo e que são herdados de maneira mendeliana.

Considerando que representam uma determinada região do genoma, possuindo apenas diferenças no seu comprimento (Pb), e que são herdados de maneira mendeliana, cada um deles pode ser chamado de alelo. Em outras palavras, podemos chamar de genótipo que é um termo usado para se referir à **constituição genética de um indivíduo**.

Assim, a determinação do perfil genético significa a determinação de um conjunto de marcadores genéticos que são característicos e inconfundíveis para o indivíduo dado como, por

exemplo, as impressões digitais de pessoas. Com base num perfil genético, um indivíduo pode ser identificado de forma exclusiva (Tabela 1). Assim, a Tabela 1, mostra, respectivamente, os genótipos do Pai, Mãe, F1, F2, F3, F4, F5 e F6).

Tabela 1. Localização dos genes alelos e padrões de identificação genotípica associados aos indivíduos: Pai, Mãe, F1, F2, F3, F4, F5 e F6. (Fonte: Os autores, 2021).

Indivíduos		Identificação genotípica (Marcadores alélicos)
Pai		20/60/110/140/160/190
Mãe		30/50/90/150/170/210
F1		50/60/90/110/160/210
F2		10/20/120/140/190/220
F3		20/50/60/90/140/170
F4		40/70/100/130/180/200
F5		10/30/50/80/130/170
F6		40/50/70/90/100/210

Resolução da Questão 4.

No caso relacionado à pergunta da questão 4, a Tabela 2, compara o DNA dos filhos (F1, F2, F3, F4, F5 e F6) com o DNA do Pai. Analisando-se os valores dos marcadores alélicos da identificação genotípica paterno obrigatório (Pai) 20/60/110/140/160/190, e dos supostos filhos (F1) 50/60/90/110/160/210, (F2) 10/20/120/140/190/220, (F3) 20/50/60/90/140/170, (F4) 40/70/100/130/180/200, (F5) 10/30/50/80/130/170 e (F6) 40/50/70/90/100/210, é possível verificar que três deles, os indivíduos F4, F5 e F6 não possuíam nenhum dos marcadores alélicos coincidentes aos desse pai. Sendo assim, há exclusão da paternidade.

As possíveis identificações genotípicas atribuídas aos filhos biológicos desse casal, seriam dados pela combinação de três dos seis marcadores alélicos paternos (20/60/110/140/160/190) e de três dos seis marcadores alélicos maternos (30/50/90/150/170/210).

Assim, quando se compara cada marcador alélico existente no genótipo desse pai aos dos filhos: F1, F2, F3, F4, F5 e F6, observou-se a exclusão genética de três filhos. Essa exclusão ocorre pela não existência de marcadores alélicos do DNA desse pai nas identificações genóticas dos indivíduos F4, F5 e F6. Dessa forma, a filiação de F4, F5 e F6, estabelecida pelas leis de genética, não pode ser atribuída a esse Pai.

Tabela 2. Comparação dos marcadores alélicos vinculado ao (Pai) 20/60/110/140/160/190, com os marcadores alélicos da população parental F1, F2, F3, F4, F5 e F6. (Fonte: Os autores, 2021).

Indivíduos		Identificação genotípica (Marcadores alélicos)	Genes recebidos (Pai)	Percentual (%)
Pai		20/60/110/140/160/190		100,0%
F1		50/60/90/110/160/210	60/110/160	50,0%
F2		10/20/120/140/190/220	20/140/190	50,0%
F3		20/50/60/90/140/170	20/60/140	50,0%
F4		40/70/100/130/180/200	Nenhum	0,0%
F5		10/30/50/80/130/170	Nenhum	0,0%
F6		40/50/70/90/100/210	Nenhum	0,0%

Resolução da Questão 5.

No caso relacionado à pergunta da questão 5, a Tabela 3 foi organizada para comparar o DNA dos filhos (F1, F2, F3, F4, F5 e F6) com o DNA da Mãe. Analisando-se os valores dos marcadores alélicos da identificação genotípica materno obrigatório (Mãe) 30/50/90/150/170/210, e dos supostos filhos (F1) 50/60/90/110/160/210, (F2) 10/20/120/140/190/220, (F3) 20/50/60/90/140/170, (F4) 40/70/100/130/180/200, (F5) 10/30/50/80/130/170 e (F6) 40/50/70/90/100/210, é possível verificar que dois deles, os indivíduos F2 e F4 não possuíam nenhum dos marcadores alélicos coincidentes aos dessa mãe. Sendo assim, há exclusão da maternidade.

As possíveis identificações genóticas atribuídas aos filhos biológicos desse casal, seriam dados pela combinação de três dos seis marcadores alélicos paternos (20/60/110/140/160/190) e de três dos seis marcadores alélicos maternos (30/50/90/150/170/210).

Assim, quando se compara cada marcador alélico existente no genótipo dessa mãe aos dos filhos: F1, F2, F3, F4, F5 e F6, observou-se a exclusão genética de dois filhos. Essa exclusão ocorre pela não existência de marcadores alélicos do DNA similares ao dessa mãe nas identificações genótípicas dos indivíduos F2 e F4. Dessa forma, a filiação de F2 e F4, estabelecida pelas leis de genética, não pode ser atribuída a essa Mãe.

Tabela 3. Comparação dos marcadores alélicos vinculado ao (Mãe) 30/50/90/150/170/210, com os marcadores alélicos da população parental F1, F2, F3, F4, F5 e F6. (Fonte: Os autores, 2021).

Indivíduos		Identificação genotípica (Marcadores alélicos)	Genes recebidos (Mãe)	Percentual (%)
Mãe		30/50/90/150/170/210		100,0%
F1		50/60/90/110/160/210	50/110/210	50,0%
F2		10/20/120/140/190/220	Nenhum	0,0%
F3		20/50/60/90/140/170	50/90/170	50,0%
F4		40/70/100/130/180/200	Nenhum	0,0%
F5		10/30/50/80/130/170	30/50/170	50,0%
F6		40/50/70/90/100/210	50/90/210	50,0%

Resolução da Questão 6.

No caso relacionado à pergunta da questão 6, foi construído um heredograma (Figura 3), que é uma representação que permite comparar a relação de parentesco entre os ancestrais (Pai e Mãe) e os descendentes (F1, F2, F3, F4, F5 e F6) através dos marcadores alélicos que identifica cada indivíduo e que são herdados de maneira mendeliana. É interessante verificar que, mesmo os filhos não tendo em sua identificação genotípica os marcadores alélicos relacionados, tanto ao suposto pai quanto a possível mãe, foram adicionados ao modelo.

Analisando os marcadores alélicos apresentados pelas identificações genótípicas dos descendentes F1, F2, F3, F4, F5 e F6 com os ascendentes Pai e Mãe (Figura 3), foi possível verificar que apenas os indivíduos F1 e F3, são vinculados geneticamente como filhos biológicos dessa mãe com esse pai.

Pelas leis estabelecidas pela genética, cada filho tem duas cópias de DNA, uma é herdada da mãe, e a outra herdada do pai. Assim, comparando-se os valores dos marcadores alélicos da identificação genotípica do (Pai) 20/60/110/140/160/190 e da (Mãe)

30/50/90/150/170/210 com a dos filhos (F1) 50/60/90/110/160/210 e (F3) 20/50/60/90/140/170, verifica-se que cada um deles possuem 50,0% de marcadores alélicos que são provenientes do pai e outros 50,0% provenientes da mãe. Portanto, a mãe obrigatoriamente transmitiu os marcadores alélicos 50/110/210 ao filho F1 e 50/90/170 ao F2. Da mesma forma, podemos verificar que F1 e F3 receberam obrigatoriamente (do) desse pai, respectivamente, os marcadores alélicos 60/110/160 e 20/60/140.

No gel de eletroforese (Figura 2) que compara o DNA dos filhos F1 e F3 com o DNA desse pai e dessa mãe, observou-se que esses filhos receberam três alelos marcados em verde do pai e três alelos marcados em azul da mãe. Portanto, a banda que não era similar entre a mãe e o filho foi, então, comparada entre o filho e o suposto pai. Como os marcadores alélicos são semelhantes, significa que o DNA é complementar e, portanto, é possível admitir com certeza que tanto F1 como F3 são filhos biológicos desse casal.

Os marcadores alélicos (bandas) observados (Figuras 2 e 3) são únicas para cada pessoa e são geradas a partir união do DNA materno presente no óvulo e do DNA paterno presente no espermatozóide no momento da fecundação, por isso, esse processo também é conhecido como impressão digital genética.

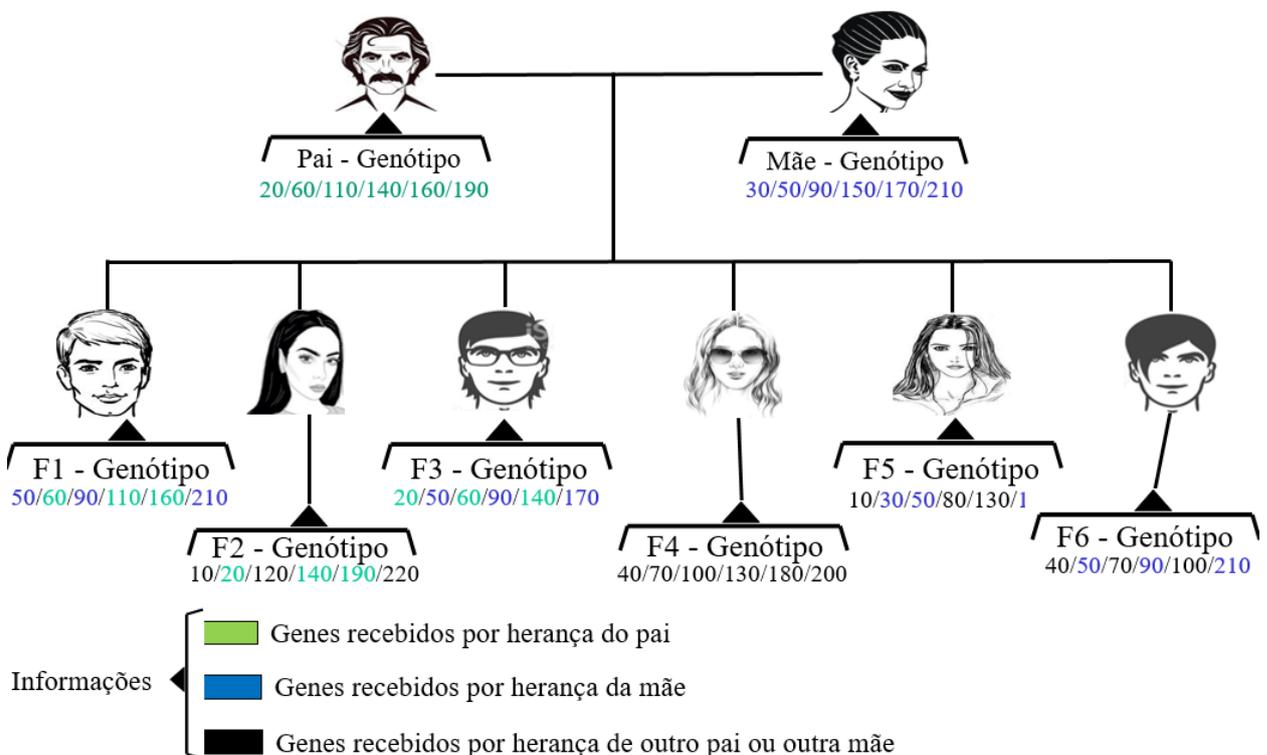


Figura 3. Padrões de identificação genotípica associados aos indivíduos: Pai, Mãe, F1, F2, F3, F4, F5 e F6 para inclusão ou exclusão de paternidade ou maternidade. (Fonte: Os autores, 2021).

Resolução da Questão 7.

No caso relacionado à pergunta da questão 7, o heredograma (Figura 4) foi organizado para mostrar o comportamento dos marcadores alélicos dos ascendentes (Pai) 20/60/110/140/160/190 e (Mãe) 30/50/90/150/170/210 em relação ao suposto descendente (F2) 10/20/120/140/190/220.

Na comparação dos marcadores alélicos dos ascendentes pai e mãe com os descendentes F1, F2, F3, F4, F5 e F6 (Figuras 3), foi possível verificar que apenas o genótipo de (F2), apresentou ser filho biológico desse pai com uma outra mãe (Figura 4).

Analisando-se os marcadores alélicos do genótipo de (F2) 10/20/120/140/190/220, e de seu (Pai) 20/60/110/140/160/190, ficou evidente que (F2) herdou três marcadores alélicos (bandas) semelhantes aos desse pai 20/140/190, enquanto os outros três se referem a marcadores alélicos herdados de uma outra mulher 10/120/220, não sendo encontrado nesta mãe (Figura 4). Dessa maneira verificando o genótipo da suposta (Mãe) 30/50/90/150/170/210, observou-se que a mesma não poderia ter contribuído com os alelos 10/120/220 herdados por F2. Logo, nesse caso, somente a paternidade de F2 não pode ser excluída.

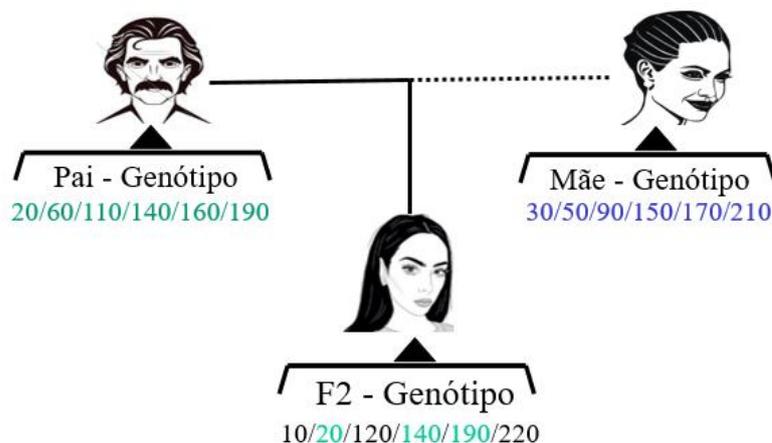


Figura 4. Padrões de identificação genotípica associados aos indivíduos: Pai, Mãe e F2 para inclusão ou exclusão de paternidade ou maternidade (Fonte: Os autores, 2021).

Resolução da Questão 8.

No caso relacionado à pergunta da questão 8, o heredograma (Figura 5) foi organizado para demonstrar o comportamento dos marcadores alélicos dos ascendentes (Pai) 20/60/110/140/160/190 e (Mãe) 30/50/90/150/170/210 em relação aos supostos descendentes (F5) 10/30/50/80/130/170 e (F6) 40/50/70/90/100/210.

Na análise dos marcadores alélicos do genótipo de (Pai, Mãe, F5 e F6) foi possível verificar que F5 e F6 são filhos dessa mãe com outro homem (Figura 5). Para chegarmos a essa conclusão, observamos que os marcadores alélicos (bandas) que identificam o genótipo de (F5) e (F6) são encontrados apenas no resultado referente a essa mãe, respectivamente, (F5) 30/50/170 e (F6) 50/90/210. Dessa forma, os marcadores alélicos de F5 e F6 que não são compartilhados com essa mãe e, portanto, foi herdado do pai, não é encontrado nesse pai em estudo.

Como apresentado na Figura 5, examinando-se todos os três genótipos dos indivíduos em estudo (Pai, F5 e F6) e comparando-os pelos números dos marcadores alélicos. Observamos a não ocorrência dos marcadores alélicos 10/80/160 herdados por F5 e 40/70/100 herdados por F6 nesse (Pai) 20/60/110/140/160/190. Logo, nesse caso, somente a maternidade de F5 e F6 não pode ser excluída.

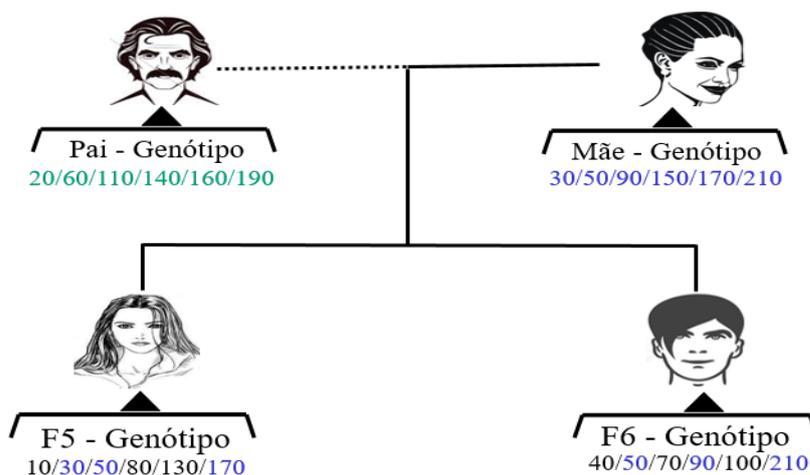


Figura 5. Padrões de identificação genotípica associados aos indivíduos: Pai, Mãe, F5 e F6 para inclusão ou exclusão de paternidade e maternidade (Fonte: Os autores, 2021).

Resolução da Questão 9.

No caso relacionado à pergunta da questão 9, o heredograma (Figura 6) foi organizado para demonstrar o comportamento dos marcadores alélicos dos ascendentes (Pai) 20/60/110/140/160/190 e (Mãe) 30/50/90/150/170/210 em relação ao suposto descendente (F4) 40/70/100/130/180/200. Analisando os marcadores alélicos que compara o DNA do suposto descendente F4 com o DNA desse pai e dessa mãe, é possível afirmar que os marcadores alélicos de (F4) 40/70/100/130/180/200 invalida esse casal como seus pais biológicos. Dessa maneira, e como na informação embutida nos genótipos (Figura 6), não se verificou o compartilhamento de marcadores alélicos entre F4 e esses Pai e Mãe, se está diante de uma exclusão da descendência biológica.

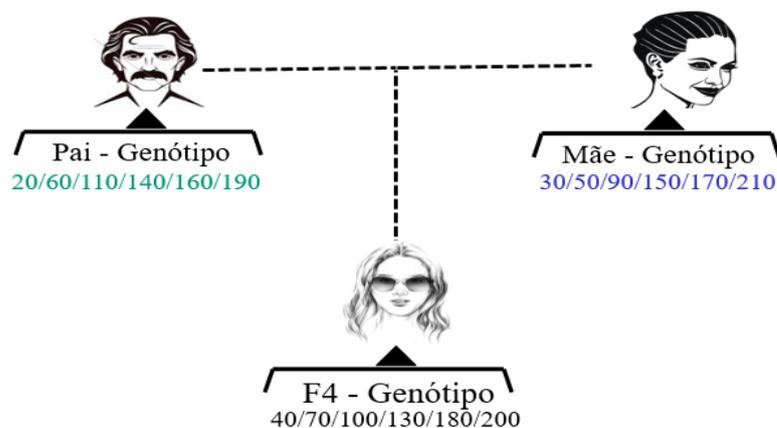


Figura 6. Padrões de identificação genotípica associados aos indivíduos: Pai, Mãe e F4 para inclusão ou exclusão de paternidade ou maternidade (Fonte: Os autores, 2021).

Resolução da Questão 10.

A situação hipotética que foi proposta mostrou os padrões de DNA de um casal (mãe e pai) e seus seis filhos (F1, F2, F3, F4, F5 e F6). O valor Kb, expresso na primeira coluna (Figura 1 e 2), correspondeu ao número de pares de bases por fragmento de DNA (marcadores alélicos) que é característico de cada pessoa. Para se descobrir se F1, F2, F3, F4, F5 e F6 são

filhos legítimos desse casal, foi feita uma comparação entre as faixas (bandas) regiões coradas em azul que indica vínculo materno e regiões coradas em verde que indica vínculo paterno. Dessa maneira, deve-se levar em consideração que um filho possui 50% do seu DNA de sua mãe e 50%, de seu pai. Assim, fazendo as comparações das bandas de DNA, pode-se verificar que os marcadores alélicos obrigatórios paternos presentes no perfil dos filhos (banda) coincidem com os marcadores alélicos observados no perfil do suposto pai e da suposta mãe.

Portanto, a paternidade e a maternidade são fatos biológicos, que podem ser comprovadas por meios capazes de verificar essa vinculação. Sendo assim, os exames de identificação molecular (DNA) são muito úteis para solucionar a investigação, já que se baseiam na identificação de marcas genéticas que, herdadas, devem aparecer simultaneamente no filho e em seus genitores.

Tais testes partem da premissa de que herdamos um conjunto completo de moléculas de DNA (marcadores genéticos) de cada um de nossos genitores. Contudo, embora contenham praticamente as mesmas informações genéticas, podem haver diferenças sutis nas sequências de bases que herdamos de cada um dos nossos genitores. São justamente essas pequenas diferenças que nos fazem geneticamente diferentes uns dos outros. Ao longo do nosso genoma é possível encontrar regiões que apresentam grande variação de tamanho entre os indivíduos. Isso ocorre devido a mutações ao acaso que acrescentam ou retiram trechos repetidos de nucleotídeos, como a sequência de marcadores alélicos (10 a 220 Pb) mostrada nessa simulação. Tais mutações normalmente não afetam de forma negativa os seus portadores, podendo se acumular ao longo das gerações. Isso garante a manutenção de uma grande quantidade de alelos na população.

No caso, para a avaliação estatística e o cálculo do índice de identificação foram verificados a proporção x de marcadores alélicos (Tabelas 2 e 3) que foram compartilhadas entre os genótipos previamente obtidos de F1, F2, F3, F4, F5 e F6 com as dos genitores (Pai e Mãe). O índice final de compartilhamento de marcadores alélicos será proporcional quando calculado para os pares Pai e Mãe (Tabelas 2 e 3). Nos casos em análise, cada um dos indivíduos: F1, F2, F3, F4, F5 e F6, tem a metade dos marcadores alélicos (bandas) herdados do pai e outra metade herdados da mãe.

Assim, os possíveis genótipos dos filhos desse casal seriam dados pela combinação de três dos seis marcadores alélicos paternos (20/60/110/140/160/190) e três dos seis marcadores alélicos maternos (30/50/90/150/170/210), resultando possivelmente nos genótipos de (F1) 50/60/90/110/160/210, (F2) 10/20/120/140/190/220, (F3) 20/50/60/90/140/170, (F4) 40/70/100/130/180/200, (F5) 10/30/50/80/130/170 e (F6) 40/50/70/90/100/210 (Tabela 1).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando a diversidade de alunos da turma e que cada estudante adquire o conhecimento de maneira diferente e no seu tempo, a utilização de diferentes metodologias é uma alternativa para melhorar a compreensão dos conteúdos.

Foi observado que a utilização dessa simulação 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 de Genética Molecular.

As análises das dez questões da atividade proposta permitiram observar um desempenho semelhante ao das aulas práticas, sendo indicativo de que a substituição é possível por esse modelo alternativo que foi usado.

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.

A nova versão da Base Nacional Comum Curricular (BNCC), publicada em 2018, apresenta uma nova configuração para o Ensino de Ciências Naturais, com esta nova formatação o aluno vai aprender de forma sequencial, à medida que for progredindo de ano escolar, com base nos eixos temáticos desenvolvidos para o ensino de Ciências. As atividades investigativas ganham notável importância, com a finalidade de instigar o planejamento e a realização cooperativa de atividades, bem como, proporcionar o compartilhamento dos resultados adquiridos durante a aprendizagem baseada em investigações.

Segundo Orlando et al. (2009), 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.

Freire (1998) afirma que é necessário, na formação de docentes, que o professor não fique parado no tempo, sendo imprescindível a busca por metodologias que permitam que as aulas sejam mais proativas, com materiais não convencionais e tentativas de discussão de técnicas, aguçando a curiosidade do ser humano, fazendo com que ele se questione, seja um investigador ativo.

Setúval (2009) afirma 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.

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.

Berbel (1995) destaca que a resolução de problemas de natureza investigativa, a partir de atividades práticas, pode permitir a associação entre o conhecimento trazido pelos alunos e o conhecimento científico. Segundo Pozo (1998) nossas perguntas ou inquietações sobre o mecanismo da natureza ou da tecnologia costumam aparecer sob a forma de problemas, inclusive fora da escola.

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-lo em aulas. Outros estudos visaram trabalhar a construção/utilização de modelos com os estudantes da licenciatura em biologia, de tal forma que estes futuros professores possam utilizá-los como material didático quando se formarem. Dentre os estudos em que estão ilustrados os modelos representativos em sala de aula 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), relataram de forma geral, o envolvimento dos alunos do início ao fim da atividade; maior facilidade na reflexão do conteúdo; a 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 por parte dos alunos; desenvolvimento da criatividade e do espírito de equipe entre os alunos.

A partir do modelo simulado (Figura 1) foi possível explicar de acordo com Dolinsky et al (2007); Snustad & Simmons (2013); Candeloro et al. (2019); Frohlich et al. (2020) que cada indivíduo possui em seu DNA, uma sequência repetida de nucleotídeos (marcadores

alélicos). E que essa sequência é exclusiva de cada descendente e que ele herda esses marcadores (genes) de seus genitores de acordo com os padrões de herança mendeliana, sendo 50,0% do pai e 50,0% da mãe. É importante ressaltar que os indivíduos da espécie humana compartilham 99,9% de seu genoma (VENTER et al., 2003; ALBERTS et al., 2010).

O modelo didático proposto também permitiu demonstrar que os heredogramas (Figuras 3 a 6) são estruturas gráficas amplamente utilizadas no campo da genética e que estabelece a relação de parentesco entre indivíduos através da ligação entre os símbolos que os representam. Basicamente existem dois tipos de ligações. Essas ligações, feitas através de linhas horizontais e verticais, são utilizadas para demonstrar o tipo de parentesco entre indivíduos. Desta forma, pode-se simular a possibilidade de tipos de maternidade, paternidade e filiação retratadas com e sem a ocorrência do processo biológico em questão, de modo que o estudante entendesse que este modelo didático apresentado (Figura 1 e 2) pode ser uma ferramenta alternativa para o aprendizado da constituição biológica do equipamento hereditário dos filhos, em que ele influencia não só diretamente, por sua contribuição própria, como também indiretamente, pela escolha do componente masculino ou feminino do casal.

A representação dos genes por números de marcadores alélicos (Figuras 1 a 6 e Tabelas 1 a 3) permitiram que fossem trabalhados conceitos como alelos, locus, homocigoto e heterocigoto, termos estes tão importantes para a compreensão das bases da genética e, por vezes, tão abstratos para os estudantes (TEMP, 2011). E, conforme destaca 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, o perfil genético de um indivíduo, comumente utilizado na identificação humana, é baseado na combinação de diversos marcadores alélicos que são herdados de seus progenitores. Esses marcadores ou polimorfismos são considerados diferenças nas sequências de DNA entre os indivíduos. Dessa forma, é possível estimar o tamanho dos fragmentos contidos em cada amostra investigada, por meio da posição de suas bandas (Figura 1), comparadas com as posições das bandas da amostra padrão, semelhante ao que observou na Figura 2.

Conceitualmente, GRIFFITHS et al. (2006); Buttler (2010); Alberts et al. (2010) destacaram que as várias combinações das bases: adenina, timina, guanina e citosina, produzem as diferenças biológicas entre os indivíduos, sendo que tais informações genéticas são passadas de uma geração para a outra, no momento da concepção.

Segundo Borges & Lima (2007) e Durban et al. (2008), boa parcela dos estudantes brasileiros sai 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 AA, Aa ou aa, 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. Mais do que isso as leis de Mendel são a base para a compreensão das características hereditárias passadas de geração a geração (FABRÍCIO et al. 2006).

O modelo didático desenvolvido neste trabalho proporcionou aos estudantes de licenciatura em biologia, mais uma ferramenta metodológica para reprodução, a ser usado durante as aulas de genética na parte em que aborda assuntos relacionados a variabilidade genética das espécies, evidenciando as possíveis distribuições genotípicas e as fenotípicas dos descendentes resultantes da origem da combinação de diferentes ascendentes genitores. 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) 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.

CONCLUSÃO

Conclui-se que são vários os benefícios alcançados pela utilização da representação didática abordando o conteúdo de identificação pessoal e da verificação de vínculo genético entre indivíduos, utilizando a parte experimental da investigação do exame em DNA.

A facilitação do entendimento e da aprendizagem do processo biológico em questão foi o principal ponto positivo do modelo, visto que os alunos ficaram motivados, procurando resolver as questões. Não sendo verificadas questões sem resoluções.

Foram registradas muitas respostas espontâneas, desvinculadas de conceitos pré-definidos em livros didáticos. Dessa forma foi constatado um aumento significativo de conhecimento ao longo das atividades, para as dez questões que foram formuladas.

Isso mostrou a propriedade do modelo didático utilizado em despertar o interesse e estimular o raciocínio e a criatividade na resolução das questões propostas.

O modelo didático também possibilitou a socialização, promovendo o trabalho em grupo. Dessa forma, exercitou a habilidade dos alunos em respeitar as diferentes opiniões e tomar decisões para a construção das figuras e das tabelas.

Observou-se que os alunos gostaram da experiência e que conseguiram aprender e compreender os conceitos que envolvem as leis de Mendel, como também suas aplicações na transmissão de informações genéticas, além de reforçar o conteúdo da origem da variabilidade genética das espécies. Assim, o uso do modelo proposto se mostrou uma metodologia eficiente para trabalhar conceitos e relações dentro do conteúdo de genética.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBERTS, B; JOHNSON, A; LEWIS, J; RAFF, M; ROBERTS, K; WALTER P. *Biologia Molecular da Célula*, 5ª edição, Porto Alegre: Artmed, 2010.

AMORIM, A. S. Influência do uso de jogos e modelos didáticos no ensino de biologia para alunos de ensino médio. 2013. 49 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas). Universidade Aberta do Brasil, Modalidade de Ensino a Distância, Universidade Federal do Ceará, Beberibe, 2013.

BERBEL, N. A. N. Methodology of Problematization: a methodological alternative suitable for Higher Education. Seminário: CI. Soc./Hum. Londrina, v. 16. n. 2. Ed. Especial, p. 9-19, out. 1995.

BNCC - Base Nacional Comum Curricular, 2018.

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.

BRASIL. MEC. Secretaria da Educação Média e Tecnológica. O papel da educação na sociedade tecnológica. Parâmetros curriculares nacionais: ensino médio (1ª parte). Brasília: MEC/Secretaria da Educação Média e Tecnológica, 1999. 7-139.p.

BUTLER, J. M. *Fundamentals of forensic DNA typing*. Elsevier Academic Press; 2010.

CANDELORO, M. M.; FROHLICH, P. B. M.; KIMURA, M. T.; MEDEIROS, M. O. A tecnologia do DNA e sua importância prática e jurídica na comprovação da paternidade. *Biodiversidade* - n.18, v.3, p. 202, 2019.

CALDERANO, C. M. et al. Confecção e utilização de modelos didáticos como ferramenta para o ensino de citologia. In: II CONGRESSO NACIONAL DE FORMAÇÃO DE PROFESSORES E XII CONGRESSO ESTADUAL PAULISTA SOBRE FORMAÇÃO DE EDUCADORES, 2, 12, 2014, Águas de Lindóia. Anais... São Paulo, 2014. p. 10543-10553.

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.

DOLINSKY, L C et al. DNA forense. *Saúde Amb. Rev. Duque de Caxias*, 2007, 2(2):11-22.

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.

- FABRÍCIO, M. F. L.; JÓFILI, Z. M. S.; SEMEN, L. S. M. & LEÃO, A. M. A. C. A compreensão das leis de Mendel por alunos de biologia na educação básica e na licenciatura. *Ensaio - Pesquisa em Educação em Ciências*, 8(1), 12-55. (2006)
- 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.
- FERREIRA, S. F. Desenvolvimento do jogo didático intitulado “a fantástica fábrica de proteínas”. 2015. 33 f. Monografia (Especialização em Genética para Professores do Ensino Médio) - Universidade Federal do Paraná, Apucarana, 2015.
- FREIRE, P. *Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa*. São Paulo: Paz e Terra, 1998.
- FROHLICH, P. B. M.; CANDELORO, M. M.; KIMURA, M. T.; MEDEIROS, M. O. O DNA como ferramenta de identificação humana e a sua relevância para a atuação jurídica. *Biodiversidade* - v.19, n.1, p. 150-161, 2020.
- GIORDAN, A.; DE VECCHI, G. *As origens do saber: das concepções dos aprendentes aos conceitos científicos*. 2. ed. Porto Alegre: Artes Médicas. (1996).
- GRIFFITHS, A. J. F.; WESSLER, S.R.; SUZUKI, D. T.; LEWONTIN, R. C.; GELBART, W.M. *Introdução à Genética*. 8. ed. Rio de Janeiro: G. Koogan, 2006. 743 p. (traduzido por Paulo A. Motta)
- 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, 2 a 4 de 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. *Arq Mudi*.10(2): 35-40, 2006.
- 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.
- LIMA, J. P.; CAMAROTTI, M. F. Ensino de ciências e biologia: o uso de modelos didáticos em porcelana fria para o ensino, sensibilização e prevenção das parasitoses intestinais. In: CONGRESSO NACIONAL DE EDUCAÇÃO, 2., Campina Grande, 2015. *Anais...* Paraíba: CONEDU, 2015.
- 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, pág. 215 – 235, 2021.

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.

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.

POZO, J. I. *A solução de problemas: aprender a resolver*. Porto Alegre: ArtMed (1998).

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.

SETÚVAL, F. A. R.; BEJARONO, N. R.R. Os modelos didáticos com conteúdo de genética e a sua importância na formação inicial de professores para o ensino de ciências e biologia. *Encontro nacional de pesquisa em educação em ciências*, 2009.

SILVA, I. P. *Estilos de aprendizagem e materiais didáticos digitais nos cursos de licenciatura em matemática a distância*. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia. (2015).

SNUSTAD, D. P; SIMMONS, M. J. *Fundamentos da Genética*. Cláudia Lúcia Caetano de Araújo [tradução]. 6. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan. (2013).

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

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.

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.

ZABALA, A. A prática educativa. Porto Alegre: Artmed, 1998