

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*

Mauro Osvaldo Medeiros¹

Sueli Maria Alves¹

Marcelo Teiji Kimura²

RESUMO: A disciplina de Genética de Populações, é um campo dentro da Biologia que busca, através de cálculos matemáticos, estudar a distribuição e a composição genética em uma ou mais populações e as consequências de possíveis mudanças nessa composição, sendo difícil a sua compreensão. Dessa forma, objetivo deste trabalho foi estudar os mecanismos da hereditariedade da cor da pelagem de coelhos em nível populacional, levando em conta um modelo didático de uma amostra aleatória de uma população fictícia de coelhos, determinando as frequências genotípicas e alélicas, proporcionando uma interação da genética com a dinâmica populacional, e propiciando aos professores e alunos a utilização de materiais alternativos no ensino da genética de populações. Para tanto, foi feita uma coleta de dados em um modelo didático ilustrando figuras de um grupo de coelhos da mesma espécie, vivendo em uma área geográfica restrita e identificados por quatro diferentes fenótipos de cor da pelagem. Pode-se constatar durante a experiência em sala de aula, a motivação dos alunos ao trabalharem com os próprios dados coletados ao encontrarem um jeito de manipular esses dados para prever numericamente as frequências dos genes alelos e dos genótipos, identificando a probabilidade de suas ocorrências.

Palavras-chave: genética de populações; coelhos; ensino-aprendizagem; distribuição polinomial; biomatemática.

DIDACTIC MODEL APPLIED IN THE DEGREE COURSE IN BIOLOGICAL SCIENCES AT UFR/MT FOR THE STUDY OF POPULATION GENETICS CONNECTED TO THE CASE OF MULTIPLE ALLELISM INVOLVING COAT COLOR IN RABBITS - *Oryctolagus cuniculus*

ABSTRACT: Population Genetics is a field within Biology that seeks, through mathematical calculations, to study the distribution and genetic composition in one or more populations and the consequences of possible changes in this composition, making it difficult to understand. Thus, the objective of this work was to study the mechanisms of heredity of coat color in rabbits at a population level, taking into account a didactic model of a random sample of a fictitious population of rabbits, determining the genotypic and allelic frequencies, providing an interaction of the genetics with population dynamics, and providing teachers and students with the use of alternative materials in the teaching of population genetics. For this, data collection was carried out in a didactic model illustrating figures of a group of rabbits of the same species, living in a restricted geographic area and identified by four different coat color phenotypes. It can be seen during the classroom experience, the students' motivation to work with their own data collected by finding a way to manipulate this data to numerically predict the frequencies of allelic genes and genotypes, identifying the probability of their occurrence.

Keywords: population genetics; rabbits; teaching-learning; polynomial distribution; biomathematics.

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,

INTRODUÇÃO

Atualmente, muito se tem discutido sobre estratégias para o sucesso no aprendizado dos estudantes na disciplina de Genética de Populações, que é um campo dentro da Biologia que busca, através de cálculos matemáticos, estudar a distribuição e a composição genética em uma ou mais populações e as consequências de possíveis mudanças nessa composição, sendo difícil a sua compreensão.

Assim, essa área do ensino enfrenta algumas dificuldades, dentre elas estão: despertar o interesse do aluno, fazê-lo entender processos que envolvem conceitos abstratos e descobrir formas de ajudar o aluno a perceber a relação que existe entre os conhecimentos científicos e o cotidiano. Portanto, é imprescindível buscar alternativas, meios, estratégias e recursos didático-pedagógicos que possam cada vez mais facilitar o processo ensino aprendizagem dessa disciplina.

Encontra-se nos parâmetros curriculares nacionais do ensino médio (Brasil, 1999) que a escola e o professor devem ter o objetivo de promover no aluno o gosto pelo conhecimento. Neste sentido os modelos didáticos podem ser uma ferramenta enriquecedora nas aulas práticas, experimentos e demonstrações dentro e fora de sala de aula, apresentando grande importância na assimilação dos conteúdos e auxiliando na construção e compreensão de conhecimentos no processo de aprendizagem (GONZAGA et al., 2012).

Segundo Mendonça & Santos (2011) os modelos didáticos além dar a competência necessária aos alunos de criar e recriar permitem ainda associar o conhecimento científico, que é transmitido, para algo mais investigativo e que desenvolva habilidades de compreensão, associação com o tema, trabalho em grupo, organização, concentração, no qual facilita a criação dos modelos. Os benefícios da utilização dos modelos são amplamente reconhecidos e diversos autores apontam a contribuição dessa metodologia na facilitação do aprendizado (GARDNER, 1995; WATERMAN, 1998; MIRANDA, 2001; BLUMKE, 2002; DOLZ; NOVERRAZ & SCHNEUWLY, 2004; BRITO et al., 2005; OLIVEIRA, 2005; BASSANEZI, 2006; BARBOSA, 2008; PEDROSO, 2009; MELO, 2010; MENDONÇA & SANTOS, 2011; DUSO, 2012; GUILHERME et al., 2012; HERMANN & ARAÚJO, 2013; CALDERANO et al., 2014; KLAUBERG, 2015; LIMA & CAMAROTTI, 2015; PEREIRA et al., 2015; BATISTA; OLIVEIRA; RODRIGUES, 2016; MEDEIROS et al., 2021 e 2022; MEDEIROS, ALVES E KIMURA, 2022). E como foi relatado por Cavalcante & Silva (2008), os modelos didáticos possibilitam a experimentação, e podem direcionar os estudantes na associação da teoria e da prática, indicando novas possibilidades e conceitos aplicados através das habilidades promovendo o engajamento no desenvolvimento dos conteúdos.

Assim como muitos outros temas aplicados em Genética de Populações, o polialelismo ou alelismo múltiplo é um dos conteúdos nos quais os alunos tem dificuldades de compreensão. Um exemplo disso é o relacionado a cor da pelagem em coelhos, onde podem ser distinguidos quatro fenótipos distintos: selvagem, chinchila, himalaia e albino.

Por meio do princípio de Hardy-Weinberg, é possível prever as frequências genotípicas de homocigotos e heterocigotos, a partir da frequência dos genes alelos observados em uma amostra da população. O conhecimento da dinâmica dos genes e seu comportamento nas populações são essenciais para um bom entendimento de Evolução, de Melhoramento Genético, bem como de Genética Geral.

Embora os princípios básicos da Genética de Populações sejam relativamente simples, na prática a sua demonstração é demorada, em virtude do espaço de tempo entre as gerações. Desta forma, é necessário que o professor utilize meios didáticos metodológicos de fácil compreensão, para que seus alunos saibam interpretar e compreender todo conhecimento

repassado para eles. Nesse sentido, um dos grandes desafios encontrados pelos professores ao ensinar o conteúdo de genética de populações aos seus alunos é como associar o conteúdo a ser ministrado com a prática de forma a facilitar o processo ensino aprendizagem.

O objetivo deste trabalho foi estudar os mecanismos da hereditariedade da cor da pelagem de coelhos em nível populacional, levando em conta um modelo didático de uma amostra aleatória de uma população fictícia de coelhos, determinando as frequências genotípicas e alélicas, proporcionando uma interação da genética com a dinâmica populacional, e propiciando aos professores e alunos a utilização de materiais alternativos no ensino da genética de populações.

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 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 (aula teórica) 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 de populações, a fim de que adquirissem conhecimentos sobre o cálculo das frequências gênicas e genotípicas, ligado a casos de polialelismo.

Na segunda aula (50 min) foi aplicado um experimento simulando um grupo de coelhos da mesma espécie (Figura 1), vivendo em uma área geográfica restrita, para que os alunos apresentassem as diferentes maneiras de obter as frequências gênicas e genotípicas relacionadas a identificação dos diferentes fenótipos de cor da pelagem.

Estratégia do modelo didático proposto

De acordo com o objetivo proposto, a Figura 1, foi elaborada 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 em um experimento (Figura 1), analisando através da cor da pelagem, as diferenças fenotípicas de uma população de coelhos. As informações coletadas foram organizadas em tabelas para se ter um melhor entendimento das diferentes opções de respostas escolhidas pelos alunos.

Apresentação e estratégia de resolução da situação-problema

O coelho é um mamífero quadrúpede que pertence à família *Leporidae* e à ordem *Lagomorpha*. Trata-se de um animal cujo corpo é coberto por uma pelagem densa e parecida com lã. Sua cabeça é ovalada e seus olhos são grandes. Na natureza, seu peso varia entre 1,5 e

2,5 kg. Suas orelhas podem medir até 7 cm e sua cauda é bem curta. As patas posteriores são maiores do que as anteriores. O comprimento do coelho oscila entre 33 e 50 cm, de acordo com a raça.

Basicamente, os coelhos podem apresentar as seguintes cores de pelagem: aguti, chinchila, himalaia e albino.

O de pelagem aguti é também chamado de coelho selvagem e seu pelo apresenta tonalidade cinza-escuro, quase negro. Os coelhos chinchilas apresentam o pelo cinza prateado homogêneo. O himalaio possui pelagem branca com focinho, orelhas e extremidades das patas e da cauda negras. E o albino é inteiramente branco.

Esses quatro fenótipos originam-se da existência de quatro alelos distintos de um mesmo locus. O gene C determina a manifestação selvagem e é dominante sobre todos os outros alelos. O gene c^h condiciona o fenótipo chinchila e é recessivo para selvagem, mesmo sendo dominante para os outros. O gene c^h é determinante da manifestação da pelagem himalaia, sendo dominante apenas sobre o albino. O gene c^a produz o fenótipo albino e é recessivo para todos os demais alelos.

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

Desse modo, o modelo didático ilustrando as figuras de um grupo de coelhos da mesma espécie (Figura 1), vivendo em uma área geográfica restrita e identificados por quatro diferentes fenótipos de cor da pelagem, foram utilizadas para trabalhar a análise do perfil genético-populacional com o propósito de que os alunos fizessem um julgamento considerando a dinâmica populacional postulada pelo teorema do equilíbrio de Hardy-Weinberg, (HARDY, 1908; WEINBERG, 1908 apud BEIGUELMAN, 2008).

Assim, o desenvolvimento do estudo favoreceu o raciocínio das relações entre os genes alelos mendelianos dentro de populações de indivíduos. Os parâmetros que se utilizaram para descrever a população de coelhos foram:

- frequências fenotípicas: ocorrência relativa dos diferentes fenótipos;
- frequências genotípicas: ocorrência relativa dos diferentes genótipos;
- frequências gênicas ou alélicas: ocorrência relativa dos diferentes genes alelos.



Figura 1. Modelo didático confeccionado com perspectivas de utilização no processo de ensino e aprendizagem de genética de populações, mostrando relação numérica de polimorfismos que ocorrem naturalmente entre coelhos: selvagem ou aguti; chinchila; himalaia e albino, com vários indivíduos vivendo em uma área geográfica restrita. Fonte: Os autores (2022).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para Franco (2018), em algumas situações, uma sequência didática se assemelha com um plano de aula, porém se difere na sequência que o conteúdo deverá ser organizado, de forma que leve o estudante a uma evolução no conhecimento, através do aprofundamento dos estudos sobre o tema. Dessa forma, apresentamos uma proposta de modelo didático onde detalhamos o assunto sobre alelismo múltiplo exemplificando a variação fenotípica que ocorre nas cores de pelagem em coelhos.

Na natureza, ocorrem quatro tipos de coelho (Figura 2): selvagem ou aguti, em que o animal tem pelo preto; chinchila, que é cinza-claro; himalaia, que possui pelos pretos apenas nas orelhas, cauda, focinho e patas, sendo as demais regiões do corpo de pelagem branca; albino, em que o pelo é inteiramente branco, com vários indivíduos vivendo em uma área geográfica restrita.

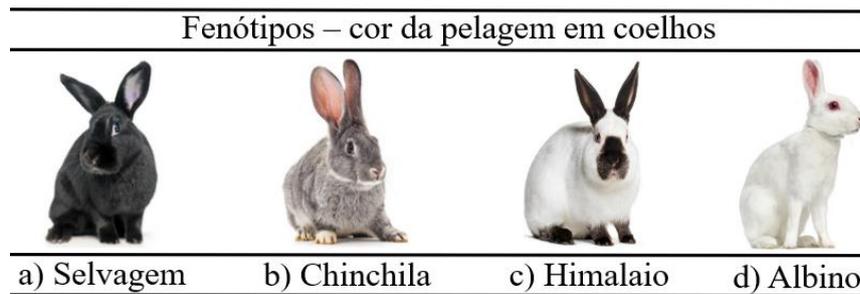


Figura 2. Cor da pelagem em coelhos. a) Aguti ou Selvagem, em que o animal é marrom ou preto; b) Chinchila, o animal é cinza-claro; c) Himalaia, branco com as extremidades pretas; d) Albino, totalmente sem pigmentação.

Quando as populações são estudadas sob o ponto de vista genético, um dos principais problemas que surgem é a determinação da frequência com que um gene ocorre na população. De posse de tal dado podemos calcular a frequência de seus alelos, bem como as frequências dos genótipos homocigotos e heterocigotos e os prognósticos para as futuras gerações.

Todos os organismos que constituem uma dada espécie animal ou vegetal são semelhantes, em decorrência de receberem material genético de ancestrais comuns. Porém, em uma análise mais detalhada de dois ou mais indivíduos dessa espécie, notamos que eles não são completamente idênticos, ao contrário, notam-se diferenças fenotípicas para várias características. Essas diferenças constituem a variação.

Para que possamos entender melhor a natureza dessa variação é preciso inicialmente fornecer alguns conceitos. O primeiro é o que denominamos de caráter, ou seja, as informações que identificam um indivíduo. Assim, tomando como exemplo a população de coelhos (Figura 1), observamos quatro fenótipos distintos quanto a característica, isto é, cor da pelagem, que identifica cada coelho. Essas diferentes expressões de um dado caráter constituem o que denominamos de fenótipo. Para o caráter cor da pelagem em coelho o fenótipo pode ser: Aguti ou Selvagem, Chinchila, Himalaia e Albino (Tabela 1).

É importante salientar que, para uma mesma espécie todos os indivíduos apresentam os mesmos caracteres e, portanto, a variação observada entre esses indivíduos é a variação fenotípica. Ela pode ocorrer em virtude de diferenças ambientais a que os indivíduos estão submetidos ou ocorrer por causa de diferenças em suas constituições genéticas.

A variação genética aparece em decorrência das diferenças nas constituições genéticas que, por sua vez, surgem pela mutação. A existência de variação genética é comum a todas as espécies biológicas e ocorre praticamente para todas as características de uma espécie. Desse modo, têm sido observadas variações para a coloração de pelagem em coelhos.

A Tabela 1, foi organizada informando o número de vezes em que as classes fenotípicas de coelhos foram identificadas (Figura 1). Verificaram-se 25 coelhos com 4 variações fenotípicas, sendo: 9 coelhos selvagem ou aguti, 12 coelhos chinchilas, 3 coelhos himalaio e 1 albino.

Observe na Tabela 1, que o gene C, se expressa em presença de Cc^{ch} , Cc^h , Cc^a , manifestando o seu fenótipo. O gene c^{ch} , se expressa em presença de $c^{ch}c^h$, $c^{ch}c^a$ manifestando o seu fenótipo. O gene c^h se expressa em presença de $c^h c^a$ manifestando o seu fenótipo. Verifica-se então que o caráter cor da pelagem é controlado por um gene, com 4 alelos e com a seguinte ordem de dominância $C > c^{ch} > c^h > c^a$.

Tabela 1: Relação entre fenótipos, genótipos e o número de coelhos observados na população da Figura 1.

Fenótipos		Genótipos possíveis	Nº animais
Selvagem		Homozigoto: CC ; ou Heterozigoto: Cc^{ch} , Cc^h , Cc	9
Chinchila		Homozigoto: c^{ch}c^{ch} ; Heterozigoto: c^{ch}c^h , c^{ch}c .	12
Himalaio		Homozigoto: c^hc^h ; Heterozigoto: c^hc .	3
Albino		Homozigoto: c^ac^a .	1
Total de animais			25

Os genes alelos são genes duplos que ocupam o mesmo espaço em **cromossomos homólogos** (pares de cromossomos presentes nas células diplóides. De maneira geral, os genes estão presentes nos cromossomos, contudo, para que eles sejam alelos é necessário que os cromossomos sejam homólogos. Um desses cromossomos é herdado do sexo masculino e o outro do sexo feminino. Assim sendo, nessa população de coelhos (Figura 1), que são organismos diplóides, são possíveis a ocorrência de 10 diferentes tipos de genótipos: CC, Cc^{ch}, Cc^h, Cc^a, c^{ch}c^{ch}, c^{ch}c^h, c^{ch}c^a, c^hc^h, c^hc^a e c^ac^a que expressam quatro fenótipos (Tabela 2). Cada coelho com cada uma dessas estruturas genéticas produzirá dois tipos de células sexuais, ou gametas.

A ocorrência do gene C determina a cor da pelagem como sendo cinza-escuro, quase negro (selvagem ou aguti). A do gene c^{ch} determina a cor da pelagem como sendo cinza-prateado (chinchila). A do gene c^h determina pelagem branca com as extremidades escuras (himalaio), e por último a ocorrência do gene c^a, determina a pelagem branca (albina). A ocorrência do gene C que condiciona a pelagem selvagem é dominante sobre os outros três alelos, a do gene c^{ch}, que condiciona a pelagem chinchila, embora seja recessiva quanto ao gene C, é dominante sobre o gene c^h e o gene c^a. A do gene c^h, para pelagem himalaio é recessivo em relação ao gene C e gene c^{ch}, mas dominante sobre o gene c^a. O gene c^a, que condiciona o fenótipo albino é recessivo em relação aos três outros tipos de genes.

Essas diferenças de estruturas genéticas comuns entre organismos da mesma espécie são chamadas polimorfismos genéticos. Assim, a descrição da composição genética desse grupo de coelhos, depende das proporções de genótipos e de genes alelos dentro dessa população, ou seja, a descrição genética de um grupo de indivíduos é dada pelo conhecimento de suas frequências gênicas e genotípicas.

A população (Figura 1) consiste de 25 coelhos ($25 \times 2 = 50$ genes alelos), e para determinar as ocorrências das frequências alélicas, precisamos conhecer a frequência da ocorrência de cada fenótipo encontrado nessa população.

Assim, com base nos elementos fornecidos pela Tabela 1, foi possível estimar as frequências populacionais de coelhos, a partir do conhecimento da distribuição de ocorrência de cada fenótipo avaliado (selvagem ou aguti; chinchila; himalaia; albino), conforme as equações (Figuras 3, 4, 5 e 6).

$$f(\text{selvagem ou aguti}) = \frac{\text{n}^\circ \text{ de indivíduos portadores do fenótipo (selvagem ou aguti)}}{\text{n}^\circ \text{ total da amostra (selvagem ou aguti + chinchila + himalaia + albino)}}$$

Figura 3. Fórmula, para o cálculo da frequência fenotípica de coelhos de pelagem selvagem ou aguti. Fonte: Os autores (2022).

$$f(\text{chinchila}) = \frac{\text{n}^\circ \text{ de indivíduos portadores do fenótipo (chinchila)}}{\text{n}^\circ \text{ total da amostra (selvagem ou aguti + chinchila + himalaia + albino)}}$$

Figura 4. Fórmula, para o cálculo da frequência fenotípica de coelhos de pelagem chinchila. Fonte: Os autores (2022).

$$f(\text{himalaia}) = \frac{\text{n}^\circ \text{ de indivíduos portadores do fenótipo (himalaia)}}{\text{n}^\circ \text{ total da amostra (selvagem ou aguti + chinchila + himalaia + albino)}}$$

Figura 5. Fórmula, para o cálculo da frequência fenotípica de coelhos de pelagem himalaia. Fonte: Os autores (2022).

$$f(\text{albino}) = \frac{\text{n}^\circ \text{ de indivíduos portadores do fenótipo (albino)}}{\text{n}^\circ \text{ total da amostra (selvagem ou aguti + chinchila + himalaia + albino)}}$$

Figura 6. Fórmula, para o cálculo da frequência fenotípica de coelhos de pelagem albino. Fonte: Os autores (2022).

Para calcular as frequências fenotípicas a partir do número de coelhos (Tabelas 2) procedemos da seguinte forma:

1. Conforme a equação (Figura 3), observamos que o número de coelhos de pelagem selvagem ou aguti foi 9 indivíduos, o que dá a proporção de: $9/25 = 0,36$ ou 36,0%.

2. Conforme a equação (Figura 4), observamos que o número de coelhos de pelagem chinchila foi 12 indivíduos, o que dá a proporção de: $12/25 = 0,48$ ou 48,0%.

3. Conforme a equação (Figura 5), observamos que o número de coelhos de pelagem himalaia foi 3 indivíduos, o que dá a proporção de: $3/25 = 0,12$ ou 12,0%.

4. Conforme a equação (Figura 6), observamos que o número de coelhos de pelagem albina foi 1 indivíduo, o que dá a proporção de: $1/25 = 0,04$ ou 4,0%.

Note que $0,36 + 0,48 + 0,12 + 0,04 = 1$, ou seja, para quatro fenótipos segregando independentemente, a soma de suas frequências é igual a um ou 100%.

Tabela 2. Frequências fenotípicas absolutas e relativas a Figura 1, conforme as equações (Figuras 3, 4, 5 e 6).

Fenótipos		Frequências absolutas	Frequências relativas	%
Selvagem		9	0,36	36,0
Chinchila		12	0,48	48,0
Himalaio		3	0,12	12,0
Albino		1	0,04	4,0
Total		25	1,00	100,0

Com base nos dados fornecidos pelas Tabelas 1 e 2, Figuras 3, 4, 5 e 6, foi possível estimar as frequências de ocorrências dos genes alelos quanto a cor da pelagem, a partir do conhecimento das ocorrências de distribuição fenotípica, isto é, de seus grupos de cores de pelagem. Assim, foi possível estimar as frequências de ocorrências dos alelos C, c^{ch} , c^h , c^a a partir do conhecimento da distribuição de cada fenótipo avaliado (selvagem ou aguti; chinchila; himalaia; albino), conforme as equações (Figuras 7, 8, 9 e 10).

$$f(c^a) = \sqrt{f(\text{Albino})}$$

Figura 7. Fórmula, para o cálculo da frequência do alelo c. Fonte: Os autores (2022).

$$f(C) = 1 - \sqrt{f(\text{Selvagem} + \text{Himalaio} + \text{Albino})}$$

Figura 8. Fórmula, para o cálculo da frequência do alelo C. Fonte: Os autores (2022).

$$f(c^{ch}) = 1 - f(C) \sqrt{f(\text{coelho chinchila} + \text{coelho albino})}$$

Figura 9. Fórmula, para o cálculo da frequência do alelo c^{ch} . Fonte: Os autores (2022).

$$f(c^h) = 1 - f(C + c^{ch} + c^a)$$

Figura 10. Fórmula, para o cálculo da frequência do alelo c^h . Fonte: Os autores (2022).

Associando os dados fornecidos pela Tabela 2 aos das equações Figuras 7, 8, 9 e 10, foi possível estimar a **ocorrência relativa dos diferentes genes** alelos C , c^{ch} , c^h , c^a . Essas estimativas podem ser obtidas de modo fácil com o emprego de métodos algébricos.

Neste cenário, se a amostra representar uma população em equilíbrio de Hardy e Weinberg, ter-se-á $(C + c^{ch} + c^h + c^a)^2 = 1$, assim, para se obter as frequências dos alelos C , c^{ch} , c^h , c^a , basta aplicar as equações (Figuras 7, 8, 9 e 10).

1. Para o cálculo da frequência do alelo c^a procedemos conforme a equação (Figura 7). Assim, basta extrair a raiz quadrada da frequência observada de coelhos albinos, ou seja, observamos que a frequência absoluta de coelhos de pelagem albina foi de 1 indivíduo, o que resultou na proporção de 1/25 e frequência relativa igual a 0,04 (Tabela 2), em que “0,2” é a frequência preliminar do alelo c^a .

$$f(c^a) = \sqrt{1/25 = 0,04} = 0,2$$

2. Para o cálculo da frequência do alelo C procedemos conforme a equação (Figura 8). Assim, basta extrair a raiz quadrada das somas das frequências observadas de coelhos de pelagem chinchila, himalaia e albino, ou seja, foi observado que a frequência absoluta de coelhos de pelagem chinchila, himalaia e albino foi de 16 indivíduos, o que resultou na proporção de: 16/25 e frequência relativa de 0,64 (Tabela 2), em que “0,2” é a frequência preliminar do alelo C .

$$f(C) = 1 - \sqrt{(12 + 3 + 1)/25 = 16/25 = 0,64} = 1 - 0,8 = 0,2$$

3. Para o cálculo da frequência do alelo c^{ch} procedemos conforme a equação (Figura 9). Assim, basta extrair a raiz quadrada da soma das frequências observadas de coelhos de pelagem himalaia e albino, ou seja, foi observado que a frequência relativa de coelhos de pelagem himalaia e albino foi de 4 indivíduos, o que resultou na proporção de: 4/25 e frequência relativa de 0,16 (Tabela 2), em que “0,4” é a frequência preliminar do alelo c^{ch} .

$$f(c^{ch}) = 1 - 0,2 - \sqrt{(3 + 1)/25 = 4/25 = 0,16} = 1 - 0,2 - 0,4 = 0,4$$

4. Para o cálculo da frequência do alelo c^h procedemos conforme a equação (Figura 10). Desse modo, quando uma amostra representar uma população em equilíbrio de Hardy e Weinberg, teremos $(C + c^{ch} + c^h + c^a) = 1$. Assim, para se obter a frequência do alelo c^h , basta somar as

frequências observadas dos alelos C, c^{ch}, c^h, e subtrair de 1, ou seja, como foi designado as frequências dos alelos C, c^{ch} e c^a, por, respectivamente, 0,2, 0,4 e 0,2 a frequência esperada do gene alelo c^h resultou em “0,2”.

$$f(c^h) = 1 - (0,2 + 0,4 + 0,2) = 1 - 0,8 = 0,2$$

Na Tabela 3, podem ser observadas as frequências de ocorrências relativas estimadas dos alelos para o sistema de cores da pelagem do grupo de coelhos, a partir do conhecimento da distribuição das ocorrências fenotípicas (Figura 1). Se analisados separadamente, os quatro alelos C > c^{ch} > c^h > c^a, o gene c^{ch} foi o mais frequente, correspondendo a 40,0%. Os outros três alelos C, c^h e c^a, apresentaram menor frequência, respectivamente, ocorrências de 20,0% cada.

Tabela 3. Frequências de ocorrências relativas dos diferentes genes alelos, porcentual e número de alelos do sistema de cores da pelagem do grupo de coelhos conforme informações coletadas na população (Figura1).

Genes alelos	C	c ^{ch}	c ^h	c	Total
Frequência	0,2	0,4	0,2	0,2	1,0
%	20,0	40,0	20,0	20,0	100,0
Nº estimado	10	20	10	10	50

No processo de transmissão de genes, os genótipos dos ascendentes (pais) são separados para a formação dos gametas e estes transmitirão os alelos de cada um dos loci para uma nova composição nos descendentes (filhos). Assim, a constituição genética de uma população com respeito aos genes que ela possui é descrita pela frequência gênica, que nada mais é que a descrição de quais são os alelos presentes em cada um dos loci e suas proporções.

Analisando-se a combinação desses quatro alelos (Tabela 4) e considerando todos os coelhos fenotipados do presente estudo (n = 25), as frequências genotípicas seguem a Lei de Hardy-Weinberg, ou seja, podem ser expressas pelo polinômio de quatro monômios $(p + q + r + s)^2 = 1$, que pode ser desenvolvido e representado pela seguinte equação: $(p^2 + 2pq + 2pr + 2ps + q^2 + 2qr + 2qs + r^2 + 2rs + 2rs + s^2) = 1$, onde p, q, r e s são, respectivamente, as frequências dos quatro alelos C, c^{ch}, c^h e c^a. Com essa equação podemos calcular a frequência de um genótipo (Tabela 4) sabendo a frequência de um dos alelos (Tabela 3), ou vice-versa, desde que a população esteja em equilíbrio.

Neste caso, por convenção, representamos a frequência p, q, r e s por, respectivamente, C, c^{ch}, c^h e c^a. E segundo o equilíbrio de Hardy-Weinberg, essa população se cruzará ao acaso e os gametas com os genes C, c^{ch}, c^h e c^a serão produzidos sempre na mesma proporção, para manter as frequências dos genótipos: CC, Cc^{ch}, Cc^h, Cc^a, c^{ch}c^{ch}, c^{ch}c^h, c^{ch}c^a, c^hc^h, c^hc^a e c^ac^a constantes.

A Tabela 4, foi organizada de acordo com a equação apresentada pelo polinômio, para que os dados de frequência esperada, frequência estimada e número estimado por classe genotípica se tornassem significativos. Portanto, analisando-se a combinação dos genes alelos C, c^{ch}, c^h e c^a (Tabela 3) e considerando todos os 25 coelhos pesquisados e fenotipados (Figura 1), demonstrou-se existirem 10 combinações de classes genotípicas que foram estimados em números de coelhos, fornecendo uma melhor visualização, pois, os dados percentuais traduziram melhor a situação comparativa de cada classe genotípica.

Assim, de acordo com a equação polinomial apresentada, a análise nos demonstrou que os coelhos que apresentaram genótipo CC possuíam frequência de 0,04 ou 4%, os de genótipo Cc^{ch} frequência de 0,16 ou 16,0%, os de genótipo Cc^h e Cc^a, respectivamente, frequências de 0,08 ou 8,0%, os de genótipo c^{ch}c^{ch}, c^{ch}c^h e c^{ch}c^a frequências de, respectivamente, 0,16 ou 16,0%, os de genótipo c^hc^h frequência de 0,04 ou 4,0%, os de genótipo c^hc^a frequência de 0,08 ou 8,0% e os de genótipo c^ac^a frequência de 0,04 ou 4,0%.

Quatro classes genóticas, Cc^{ch}, c^{ch}c^{ch}, c^{ch}c^h, c^{ch}c^a demonstraram serem as combinações mais frequentes entre os coelhos (64,0%) em comparação as demais classes genóticas (Tabela 4). Se analisados separadamente as classes genóticas, os genótipos homocigotos CC, c^{ch}c^{ch}, c^hc^h, c^ac^a apresentaram menor frequência (28,0%) e os heterocigotos Cc^{ch}, Cc^h, Cc^a, c^{ch}c^h, c^{ch}c^a, c^hc^a (72,0%) demonstrando serem combinações mais frequentes.

Analisando separadamente, todos os coelhos fenotipados do presente estudo (n = 25). Foi demonstrado que 4 coelhos podem ser de constituição genotípica Cc^{ch}, 4 c^{ch}c^{ch}, 4 c^{ch}c^h, 4 c^{ch}c^a, 2 Cc^h, 2 Cc^a, 2 c^hc^a, 1 CC, 1 c^hc^h, e 1 c^ac^a.

Tabela 4. Frequências de ocorrência relativa dos diferentes genótipos e números estimados de coelhos de acordo com o fenótipo que são esperados em populações em equilíbrio genético estável, conforme a equação: $(p + q + r + s)^2 = 1$, sendo p, q, r e s as frequências dos genes C, c^{ch}, c^h e c^a.

Fenótipo	Genótipo	Frequência esperada	Frequência estimada	Número estimado	Frequências fenotípica
 Selvagem	CC	p ²	0,2 x 0,2 = 0,04	0,04 x 25 = 1	p ² + 2pq + 2pr + 2ps = 9
	Cc ^{ch}	2pq	2 x 0,2 x 0,4 = 0,16	0,16 x 25 = 4	
	Cc ^h	2pr	2 x 0,2 x 0,2 = 0,08	0,08 x 25 = 2	
	Cc ^a	2ps	2 x 0,2 x 0,2 = 0,08	0,08 x 25 = 2	
 Chinchila	c ^{ch} c ^{ch}	q ²	0,4 x 0,4 = 0,16	0,16 x 25 = 4	q ² + 2qr + 2qs = 12
	c ^{ch} c ^h	2qr	2 x 0,4 x 0,2 = 0,16	0,16 x 25 = 4	
	c ^{ch} c ^a	2qs	2 x 0,4 x 0,2 = 0,16	0,16 x 25 = 4	
 Himalaio	c ^h c ^h	r ²	0,2 x 0,2 = 0,04	0,04 x 25 = 1	r ² + 2rs = 3
	c ^h c ^a	2rs	2 x 0,2 x 0,2 = 0,08	0,08 x 25 = 2	
 Albino	c ^a c ^a	s ²	0,2 x 0,2 = 0,04	0,04 x 25 = 1	s ² = 1
Total		$(p + q + r + s)^2 = 1$	1,00	25	p ² +2pq+2pr+2ps+q ² +2qr+2qs+r ² +2rs+2rs+s ² =9

O termo heterozigossidade refere-se a uma medida da variação genética em uma população, com relao a um loco. Essa medida reflete a frequência de heterozigotos para esse loco. Tal estimativa é muito útil para avaliarmos a diversidade genética de uma população natural. No caso dessa espécie, do grupo de 25 coelhos (Figura 1), foi demonstrado que, 18 coelhos foram estimados como heterozigotos, ou seja, sua heterozigossidade observada foi de 72,0%.

A Tabela 5, foi organizada considerando o número de vezes que cada classe genotípica de coelho foi identificada e de forma que se pudesse demonstrar o número que foi estimado de genes C, c^{ch}, c^h e c^a no grupo de coelhos (Figura 1).

Dessa forma, entendendo como *pool* de genes a soma total dos genes existentes nos gametas de todos os 25 coelhos da população do estudo (Figura 1) e, considerando que cada coelho contm dois genes para a cor da pelagem; assim, foram estimados 50 genes representativos nesses lcus. Logo, existem 10 genes alelos C determinantes da pelagem selvagem, 20 genes alelos c^{ch} determinantes da pelagem chinchila, 10 genes alelos c^h determinante da pelagem himalaio e 10 genes alelos c^a determinante da pelagem albina. Também a partir desses dados, podemos determinar a frequência do alelo C, que será representada por p, a frequência do alelo c^{ch}, representada por q, a frequência do alelo c^h, representada por r e a frequência de c^a representada por s, sendo $p + q + r + s = 1$. Se analisados separadamente, os 50 genes alelos, o c^{ch} foi o mais frequente, correspondendo a 40,0% ou 0,4, ou seja, 20 alelos divididos pelo número total de alelos, que é 50. Os alelos C, c^h e c^a, foram os menos frequentes com, respectivamente, 10,0% ou 0,2 cada.

A frequência alélica foi a proporo de cada um dos diferentes alelos C, c^{ch}, c^h e c^a existentes na população de coelhos (Figura 1). Para obtermos essas proporoes, contamos o número total de coelhos com cada genótipo (CC = 1, Cc^{ch} = 4, Cc^h = 2, Cc^a = 2, c^{ch}c^{ch} = 4, c^{ch}c^h = 4, c^{ch}c^a = 4, c^hc^h = 1, c^hc^a = 2 e c^ac^a = 1) na população (Tabela 5) e calculamos a frequência relativa dos alelos envolvidos.

Tabela 5. Número estimado das classes genóticas e número estimado de genes alelos.

Fenótipo	Genótipo	Número estimado de indivíduos	Número estimado de genes			
			C	c ^{ch}	c ^h	c ^a
 Selvagem	CC	1	2			
	Cc ^{ch}	4	4	4		
	Cc ^h	2	2		2	
	Cc ^a	2	2			2
 Chinchila	c ^{ch} c ^{ch}	4		8		
	c ^{ch} c ^h	4		4	4	
	c ^{ch} c ^a	4		4		4
 Himalaio	c ^h c ^h	1			2	
	c ^h c ^a	2			2	2
 Albino	c ^a c ^a	1				2
Total		25	10	20	10	10

Na realização dessa atividade, foi possível confirmar a importância da utilização do modelo didático como complemento da aula teórica. A construção das tabelas permitiu com que os alunos visualizem de maneira mais clara os resultados obtidos, facilitando assim, o desenvolvimento do raciocínio matemático sugerido pelo conteúdo estudado. Isso foi possível de ser observado, pelas respostas obtidas em relação ao que está representado nas Figuras 3 a 10 e Tabelas 1 a 5. De acordo com Barradas et al. (2002), um modelo didático corresponde a qualquer sistema figurativo que reproduz a realidade de forma esquematizada e concreta, tornando-a mais compreensível ao aluno. Representa a construção, uma estrutura que pode ser utilizada como referência, uma imagem que permite materializar a idéia ou conceito tornando-o dessa forma assimilável.

No momento da dinâmica percebeu-se o interesse dos participantes, pois todos prestaram atenção às orientações sobre a montagem do modelo didático. Foi possível observar

o envolvimento dos alunos no processo de aprendizagem com uma nítida melhora na capacidade de tomar decisões em grupo e qualificando a interação dos mesmos, ficando evidente nos resultados obtidos, que o uso desse modelo didático favoreceu aos estudantes perceberem que qualquer população tem um reservatório gênico que lhe é particular e que a caracteriza. E que este reservatório é transmitido por intermédio das gerações. Além disso, conseguiram compreender que em uma população, o indivíduo tem uma importância transitória; o que, interessa mesmo são os genes alelos que ele possui e que serão transmitidos para as gerações seguintes.

Também, com essa atividade, os alunos consolidaram conhecimentos teóricos do tema polialelia ou alelos múltiplos e a compreensão de que os genes que controlam uma característica hereditária específica podem existir em diferentes estados ou formas alternativas chamadas alelos. E que a série responsável pela cor da pelagem no grupo de coelhos (Figura 1) era composta por quatro alelos, que é representada, em ordem decrescente, da seguinte maneira: $C > c^{ch} > c^h > c^a$. Nesse caso, para descrever a constituição genética do grupo de coelhos, os alunos identificaram e especificaram os genótipos homocigotos ($CC, c^{ch}c^{ch}, c^hc^h, c^ac^a$) e heterocigotos ($Cc^{ch}, Cc^h, Cc^a, c^{ch}c^h, c^{ch}c^a, c^hc^a$), quantos eles podem ser de cada tipo (Tabelas 4 e 5) e o fenótipo que era expresso pelo genótipo (Tabela 1). Nesse contexto, os alunos puderam visualizar, de forma diferencial, a relação entre os genes alelos, genótipos e fenótipos.

O parâmetro frequência de alelos corresponde à frequência relativa de um alelo em particular em uma determinada população. De acordo com os autores Nei (1987); Nei; Kumar, (2000); Suzuki, Griffiths, Miller (2002); Beiguelman (2008); Amabis & Martho (2010); Griffiths et al. (2016); Medeiros et al. (2021; 2022) os genótipos são formados pela união de gametas masculinos e femininos, que ocorrem geralmente ao acaso, e as frequências genotípicas são, portanto, as frequências relativas destes genótipos em uma população.

As frequências de ocorrências relativas dos alelos e das classes genotípicas foram calculadas segundo fórmulas matemáticas de probabilidade que, na biologia, são chamadas de fórmulas derivadas do Princípio do Equilíbrio de Hardy-Weinberg. Desta forma, outros conceitos interdisciplinares como o uso do polinômio $(p + q + r + s)^2 = 1$, foi um facilitador na aprendizagem, estimulando e dinamizando a aula, tornando-se um elemento no processo de aprendizagem, abrindo caminho para tornar mais compreensível o desenvolver das frequências relativas de cada alelo, genótipo ou fenótipo (Tabelas 3 e 4). Assim, durante a aplicação do modelo, observamos um imenso entusiasmo e interesse dos participantes, quando perceberam a ligação entre a matemática e a biologia, de modo que sempre passa a ver a probabilidade em distribuição polinomial como uma ferramenta fundamental para prever as frequências de ocorrências genotípicas de homocigotos e heterocigotos, a partir da frequência dos alelos observada na amostra da população de coelhos (Figura 1). Assim, a aplicação dessas previsões, são muito úteis e importantes dentro da genética de populações, para auxiliar a entender o comportamento dos genes nesse grupo de coelhos.

Como descrito por Cavalcante e Silva (2008), os modelos didáticos possibilitam a experimentação, e podem direcionar os estudantes na associação da teoria e da prática, indicando novas possibilidades e conceitos aplicados através das habilidades promovendo o engajamento no desenvolvimento dos conteúdos. Autores como Moreira & Silva (2001), Barbosa (2008), Castelão & Amabis (2008), Medeiros, Alves & Kimura (2022) colocam que o ensino e a aprendizagem na área de genética têm sido dificultados pelo alto nível de abstração desta ciência e pela falta de recursos didáticos que facilitem o mesmo, levando ao desinteresse e a desmotivação dificultando a contextualização e compreensão nos diversos temas de genética.

Percebeu-se que os participantes, a todo o momento, se mostravam empolgados com a atividade desenvolvida, sempre buscando participar e ajudar na construção dos modelos (Figuras 2 a 10) e Tabelas 1 a 5. Essa característica é proposta por Brasil (1997; 2012) ao salientar o desenvolvimento de atitudes e procedimentos. Entende-se que as estratégias desenvolvidas pelos alunos ajudaram a manifestar seus conhecimentos dentro da Biologia que busca, através de cálculos matemáticos, estudar a distribuição e a composição genética em uma ou mais populações e as consequências de possíveis mudanças nessa composição. Sendo assim, esse recurso didático pode ser utilizado como alternativa para facilitar a interatividade no processo de aprendizagem dos conteúdos de genética de populações. Portanto, é fundamental para os professores de genética de populações a busca por formas diferenciadas de ensino, que despertem no aluno a curiosidade e o entusiasmo necessários para compreender os conteúdos, bem como a satisfação de realizar as atividades propostas. Utilizando metodologias que além de permitir a interação entre a teoria e a prática, busque minimizar as dificuldades existentes, proporcionando assim uma aprendizagem mais eficaz (SOUSA, 2012).

Assim, o uso do modelo proposto (Figura 1) se mostrou uma forma eficiente para trabalhar conceitos e relações dentro do conteúdo de genética de populações. Segundo Medeiros, Alves & Kimura (2022) o ensino de Genética de Populações é de difícil compreensão, devido à complexidade dos assuntos que por ela são abordados. Portanto, é imprescindível buscar alternativas, meios, estratégias e recursos didático-pedagógicos que possam cada vez mais facilitar o processo ensino aprendizagem dessa disciplina.

Segundo os autores Pavan et al. (1998); Campos et al. (2008); Dias (2008); Valadares & Resende (2009); Agamme (2010); Bezerra et al. (2010); Corrêa & Silva Junior (2010); Temp (2011); Mendonça & Santos (2011); Duso (2012); Guilherme et al. (2012); Hermann & Araújo (2013); Calderano et al. (2014); Klauberg, (2015); Lima & Camarotti (2015); Pereira et al. (2015), Medeiros et al. (2021; 2022); Medeiros, Alves & Kimura (2022) ao ministrar aulas com utilizações de modelos didáticos, pode-se aliar a teoria à prática, garantindo assim a oportunidade para que os alunos participem ativamente nas aulas, interagindo em grupos e, sobretudo, fazendo-os entender os processos que envolvam conceitos abstratos e a perceber a relação que existe entre os conhecimentos científicos e o cotidiano. Para Giordan & Vecchi (1996) os modelos são elementos facilitadores que os educadores podem utilizar para ajudar a vencer os obstáculos que se apresentam no difícil caminho da conceitualização.

De acordo com Matos et al. (2009), o uso de metodologias alternativas deve ser estimulado para o ensino, promovendo a integração entre o conteúdo e as atividades práticas, fazendo com que o aluno seja ativo no processo ensino/aprendizagem, estimulando o trabalho em equipe e a criatividade. E segundo Griffiths et al. (2000) é necessário proporcionar aos professores estratégias de ensino e aprendizagem, além de criar novos recursos, adequados ao espaço e ao tempo disponível em aula, que permitam superar as dificuldades associadas ao ensino e à aprendizagem de Genética, em particular de Genética de Populações.

O conhecimento da dinâmica dos genes e seu comportamento em populações são essenciais para um bom entendimento de Evolução, de Melhoramento Genético, bem como de Genética Geral. Muito embora os princípios básicos da Genética de Populações sejam relativamente simples, a sua demonstração na prática é geralmente demorada, em virtude do espaço de tempo entre uma geração e outra. Assim, cabe ao professor pensar sobre o ensino-aprendizagem de Genética de Populações: no que ensinar, por que ensinar e como ensinar.

Bordenave e Pereira (2002) ressaltam a importância das estratégias do professor no emprego de diversas formas de interação para oportunizar aos alunos a construção do conhecimento de acordo com as experiências individuais, subjetivas, dos conhecimentos prévios e da maneira própria de interpretar as informações.

Desta forma é necessário que o professor utilize meios didáticos metodológicos de fácil compreensão, para que seus alunos saibam interpretar e compreender todo conhecimento repassado para eles. Nesse sentido, um dos grandes desafios encontrados pelos professores ao ensinar o conteúdo de genética de populações aos seus alunos é como associar o conteúdo a ser ministrado com a prática de forma a facilitar o processo ensino- aprendizagem.

CONCLUSÕES

No presente estudo foi possível concluir que a utilização do modelo didático proposto como ferramenta de ensino, ilustrando um caso de prática investigativa de alelismo múltiplo que ocorre com a pelagem em coelhos, além de ser uma atividade que facilitou o processo ensino aprendizagem, estimulou a criatividade, despertou a curiosidade e instigou os alunos pela busca de informações, pois, puderam identificar que os quatro fenótipos diferentes originaram-se da existência de quatro alelos distintos de um mesmo locus, estando na dependência de 10 combinações de genótipos distintos.

Pode-se constatar durante a experiência em sala de aula, a motivação dos alunos ao trabalharem com os próprios dados coletados ao encontrarem um jeito de manipular esses dados para prever numericamente as frequências gênicas ou alélicas, identificando a probabilidade de suas ocorrências.

O emprego dessa metodologia também revelou que atividades promovendo um estudo interdisciplinar entre a biologia e a matemática, podem contribuir para o desenvolvimento pessoal e cognitivo do aluno, visto que eles precisam pensar, raciocinar, interpretar e, ao final da investigação, relatar os resultados encontrados. Assim, acredita-se estar contribuindo com o aprendizado dos alunos e com a disseminação da interdisciplinaridade ao relatar os achados de uma pesquisa que objetivou desenvolver conceitos e conteúdo de estatística no ensino de genética de populações através do uso desse modelo didático.

Assim, espera-se que atividades com esse tipo de metodologia sejam mais abordadas e praticadas, de forma que torne o ensino de genética de populações mais motivador e dinâmico, atraindo ainda mais a curiosidade dos alunos e os tornando mais presentes nas salas de aula.

O modelo didático ilustrando as figuras de um grupo de coelhos da mesma espécie, vivendo em uma área geográfica restrita e identificados por quatro diferentes fenótipos de cores da pelagem, como recurso didático no ensino de genética de populações, mostrou-se eficiente e de fácil manipulação, sendo um recurso de baixo custo para desenvolvimento, podendo ser utilizado por professores e, portanto, fazer parte do plano de ensino.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGAMME, A. L. D. A. O lúdico no ensino de genética: a utilização de um jogo para entender a meiose. 2010 80f. Monografia (Graduação) Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2010.
- AMABIS, J. M.; MARTHO, G. R. *Biologia: Biologia das Populações*. 3. ed. v. 3. São Paulo: Moderna, 2010.
- BARBOSA, M.V. Oficinas práticas de genética molecular para estudantes do ensino fundamental e médio no município de Garanhuns. In 54º Congresso Brasileiro de Genética, p.2 Salvador. (2008).
- BARRADAS, C. M.; RIPPEL, J. L.; JUSTINA, L. A. D. O uso de modelos didáticos como facilitador do ensino de Genética. In XII Semana de Biologia, Cascavel, 2002.
- BASSANEZI, R. C. *Ensino-aprendizagem com modelagem Matemática: uma nova estratégia*. 3. ed. São Paulo: Contexto, 2006.
- BATISTA, R. C; OLIVEIRA, J. E.; RODRIGUES, S. F. P. Sequência Didática–Ponderações Teórico- Metodológicas. *Didática e Prática de Ensino no contexto político contemporâneo: cenas da Educação Brasileira*. XVIII ENDIPE. 2016.
- BEIGUELMAN, B. *Genética de populações humanas*. Ribeirão Preto: SBG, 2008. 235p.
- BEZERRA, N.P. A. et al. *Elaboração, Utilização e Avaliação de Jogos Didáticos para o Ensino da Genética aos Alunos do Ensino Médio*. In: X Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão – JEPEX. Recife, out. 2010.
- BORDENAVE, J. D.; PEREIRA, A. M. *Estratégias de ensino-aprendizagem*. Petrópolis, RJ: Vozes, 2002.
- BLUMKE, R. A. *A experimentação no ensino de física*. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Departamento de Física, Estatística e Matemática. Ijuí. (2002).
- BRASIL. Secretaria da Educação Fundamental. *Parâmetros Curriculares Nacionais*. Brasília: MEC/SEF, 1997.
- BRASIL. Ministério da Educação. *Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio*. Secretaria da Educação Média e Tecnológica. Brasília. 1999.
- BRASIL. Ministério da Educação. *Especialização em Tecnologias Aplicadas ao Ensino de Biologia*. 2. ed. Goiânia: UFG/Ciar, 2012.
- BRITO, S. R.; SANTOS, T. L. T.; SILVA, A. S.; COSTA, K. E.; FAVERO. E. L. Apoio Automatizado à mediação da aprendizagem baseada em experimentos. *Renote*. 3, 2, novembro, 2005.

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.

CAMPOS, I. M. I.; BORTOLOTO, T. M.; FELICIO, A. K. C. A produção de jogos didáticos para o ensino de ciências e biologia: uma proposta para favorecer a aprendizagem. UNESP – SP, 2008.

CASTELÃO, T. B. AMABIS, J. M. Motivação e ensino de genética: um enfoque atribucional sobre a escolha da área, prática docente e aprendizagem. In 54º Congresso Brasileiro de Genética, p. 5 Salvador. (2008).

CAVALCANTE, D. D. & SILVA, A. de F. A. de. Modelos didáticos e professores: concepções de ensino-aprendizagem e experimentações. In: XIV Encontro Nacional de Ensino de Química, Curitiba, UFPR, Julho de 2008.

CORRÊA, D. M. V. B.; SILVA JUNIOR, E. F. Ciência vai à escola: o Lúdico na Educação em Ciências. Universidade Federal do Paraná – Museu de Ciências Naturais, 2010.

DIAS, M. A. S. Dificuldades na aprendizagem dos conteúdos de biologia: Evidências a partir das provas de múltipla escolha do vestibular da UFRN (2001- 2008). 2008. 275p Tese (Tese de Doutorado em Educação) Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Rio Grande do Norte, 2008.

DUSO, L. O uso de modelos no ensino de biologia. In: ENCONTRO NACIONAL DE DIDÁTICA E PRÁTICAS DE ENSINO, 16, 2012, Campinas. Anais... São Paulo: ENDIPE, 2012. p. 1-10.

FRANCO, D. L. A importância da sequência Didática como metodologia no Ensino Médio da disciplina de Física moderna no Ensino Médio. Revista Triângulo, v.11, n.1, p. 151 – 162, 2018. ISSN 2175-1609.

GARDNER, H. Inteligências Múltiplas: a teoria na prática. POA: Artes Médicas. (1995).

GIORDAN, A.; DE VECCHI, G. As origens do saber: das concepções dos aprendentes aos conceitos científicos. Trad. Bruno Charles Magne. 2. ed. Porto Alegre: Artes Médicas, 1996.

GONZAGA, P. C.; SANTOS, C. M. R.; SOUSA, F. M. C.; COSTA, M. L. A Prática de Ensino de Biologia em Escolas Públicas: Perspectivas na Visão de Alunos e Professores. **XVI ENDIPE – Encontro Nacional de Didática e Práticas de Ensino** – UNICAMP – Campinas – 2012, 10 p.

GRIFFITH, A. J. F.; MAYER-SMITHIES, J. Understanding genetics: strategies for teachers and learners in universities and high schools. New York: WH freeman and Company, 2000.

GRIFFITHS, A. J.F; WESSLER, S. R; LEWONTIN, R. C.; CARROLL, S. B. **Introdução à Genética**. 11. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2016.

GUILHERME, B. C. et al. Análise de propostas de ensino de genética através do uso de modelos didáticos. In: VI CÓLOQUIO INTERNACIONAL EDUCAÇÃO E CONTEMPORANEIDADE, 6., 2012, São Cristóvão. **Anais...** Sergipe: UFS, 2012.

HARDY G. H. Mendelian proportions in a mixed population. *Science* 28:49-50. 1908.

HERMANN, F. B.; ARAÚJO, M. C. P de. Os jogos didáticos no ensino de genética como estratégias partilhadas nos artigos da revista genética na escola. In: ENCONTRO REGIONAL SUL DE ENSINO DE BIOLOGIA, 6., 2013, Santo Ângelo. **Anais...** Rio Grande do Sul: EREBIOSUL, 2013.

KLAUBERG, S. D. W. O Lúdico no Ensino da biologia uso de um modelo didático para ensino da divisão celular mitótica. 2015. 21 f. Monografia (Especialização em Genética para Professores do Ensino Médio) - Universidade Federal do Paraná, Nova Londrina, 2015.

LIMA, J. P. de; 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.

MATOS, C. H. C., OLIVEIRA, C. R. F., SANTOS, M. P. F., Ferraz, C.S. Utilização de Modelos Didáticos no Ensino de Entomologia. *Revista de Biologia e Ciências da Terra* 9(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, 2021 - 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, 2021 - 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, 2022 - 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, 2022 - pág. 83 – 109.

MELO, J. F. R. **Desenvolvimento de atividades práticas experimentais no ensino de biologia**: um estudo de caso. Brasília: UnB, 2010. 75f. Dissertação (Mestrado em ensino de Ciências), 2010.

MENDONÇA, C. O.; SANTOS, M. W. O. dos. Modelos didáticos para o ensino de ciências e biologia: aparelho reprodutor feminino da fecundação a nidação. In: V COLÓQUIO INTERNACIONAL “EDUCAÇÃO E CONTEMPORANEIDADE”, 5. São Cristovão, 2011. Anais... Sergipe, 2011.

MIRANDA, S. No fascínio do jogo, a alegria de aprender. *Ciência Hoje*, 28, 168, 64-66. (2001).

MOREIRA, M. C. A.; SILVA, E. P. Concepções prévias. Uma revisão de alguns resultados sobre genética e evolução. Encontro Regional de Ensino de Biologia, Niterói. (2001).

NEI, M. *Molecular Evolutionary Genetics*. 1. ed. New York: Columbia University, 1987.

NEI, M.; KUMAR, S. *Molecular Evolution and Phylogenetics*. 1. ed. New York: Oxford University, 2000.

OLIVEIRA, S. S. Concepções alternativas e ensino de biologia: como utilizar estratégias diferenciadas na formação inicial de licenciados. *Educar em Revista*, v. 1, n. 26, p. 01-18, 2005. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/114281>>. Acesso em: Maio, 2022.

PAVAN, O. H. O.; SUMAIO, D. S.; CÂNDIDO, F. F. B. S.; OLIVEIRA, R. M. *Evoluindo Genética: Um jogo educativo*. Ed. UNICAMP. Campinas, São Paulo, 1998.

PEDROSO, C. V. Jogos didáticos no ensino de biologia: uma proposta metodológica baseada em módulo didático. In: Congresso Nacional de Educação- EDUCERE e III Encontro Sul Brasileiro de Psicopedagogia- PUCRS, 9. Curitiba, 2009. In: Anais do IX 81 Congresso Nacional de Educação- EDUCERE e III Encontro Sul Brasileiro de Psicopedagogia PUCRS. Curitiba, 2009.

PEREIRA, M. S. et al. Avaliação dos modelos didáticos no ensino de ciências da escola municipal Casimiro Gomes – Coronel Ezequiel/RN. In: CONGRESSO NACIONAL DE EDUCAÇÃO, 2., Campina Grande, 2015. **Anais...** Paraíba: CONEDU, 2015.

SOUSA, A. Primeira lei de Mendel: jogos didáticos, uma proposta para favorecer a aprendizagem. In: O professor PDE e os desafios da escola pública paranaense/Secretaria do Estado de Educação. Paraná, v. 1, 2012.

SUZUKI, D.T., GRIFFITHS, A. J. F., MILLER, J. H. *Introdução à Genética*. 7ed., Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2002, 633p.

TEMP, D. S. *Facilitando a Aprendizagem de Genética: Uso de um Modelo Didático e Análise dos Recursos Presentes em Livros de Biologia*. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências) Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 85p. 2011.

VALADARES, L.B.L.; RESENDE, R.O. “Na trilha do Sangue”: o jogo dos grupos sanguíneos genética na escola, v. 1, n.4, p. 10-16, 2009.

WATERMAN, M.A. (2001). Caso investigativo como estratégia de estudo para a aprendizagem de Biologia. Julho, 2001.

WEINBERG, W. Über den Nachweis der Vererbung beim Menschen. Jahreshefte Verein f. vaterl. Naturk. In Wurtemberg 64: 368-382, 1908.