

# **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.**

Mauro Osvaldo Medeiros<sup>1</sup>

Sueli Maria Alves<sup>1</sup>

Marcelo Teiji Kimura<sup>2</sup>

Elza Amélia de Souza<sup>1</sup>

**RESUMO:** A genética de populações estuda as manifestações da herança no nível populacional. Ela trabalha com modelos, ou seja, representações simplificadas da realidade, usando para isso os elementos que participam do fenômeno (genes, genótipos, fenótipos, gametas, etc.), representados simbolicamente e regras operacionais capazes de traduzir os fenômenos que estão sendo estudados. Assim, diante das dificuldades apresentadas pelos alunos quanto à compreensão e construção dos conhecimentos relacionados a como se desenvolve a resistência dos insetos aos inseticidas, o presente trabalho teve como objetivo a utilização de um modelo didático para facilitar o processo de ensino aprendizagem sobre o processo evolutivo, especificamente da seleção natural com a utilização dos princípios de Hardy-Weinberg, para o entendimento da origem da variabilidade genética. Para tal, aplicou-se uma atividade de modelagem e de questões com base em características genotípicas de uma população hipotética mendeliana de baratas, a 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. Foram analisadas as frequências gênicas e genotípicas em estudo de caso simulado, a partir da identificação das classes genotípicas antes e depois da ação do inseticida. Os resultados indicaram que após aplicação do inseticida, a população de baratas resistentes aumentou. Portanto, pode-se concluir que na população houve variações nas frequências gênicas, genotípica e fenotípicas, depois da ação do inseticida sendo constatada a ocorrência de resistência ao inseticida. Diante desse fato, e da necessidade de estudos para a evidência dos mecanismos que estão conferindo resistência, o modelo didático proposto, mostrou-se uma forma eficiente para trabalhar conceitos e relações dentro do conteúdo de evolução e genética de populações, visto que os alunos ficaram motivados, procurando resolver as questões.

**Palavras-chaves:** Variabilidade genética; Aprendizagem; Licenciatura. Artrópodes, Compostos Químicos.

## **THE USE OF A REPRESENTATIVE MODEL APPLIED IN THE LICENSE COURSE IN BIOLOGICAL SCIENCES AT UFR/MT ON HOW NATURAL SELECTION ACT ON GENETIC VARIATIONS OF THE INSECT AFTER THE USE OF INSECTICIDE.**

**ABSTRACT:** Population genetics studies the manifestations of inheritance at the population level. It works with models, that is, simplified representations of reality, using for this the elements that participate in the phenomenon (genes, genotypes, phenotypes, gametes, etc.), represented symbolically and operational rules capable of translating the phenomena that are being studied. Thus, in view of the difficulties presented by the students regarding the understanding and construction of knowledge related to how insect resistance to insecticides develops, the present work aimed to use a didactic model to facilitate the teaching-learning process on the evolutionary process, specifically natural selection using the Hardy-Weinberg principles, to understand the origin of genetic variability. To this end, a modeling activity and questions based on genotypic characteristics of a hypothetical Mendelian population of cockroaches were applied to students of the 4th semester of the Degree in Biological Sciences at the Institute of Exact and Natural Sciences, at the Federal University of municipality of Rondonópolis in the State of Mato Grosso. Gene and genotypic frequencies were analyzed in a simulated case study, based on the identification of genotypic classes before and after the action of the insecticide. The results indicated that after application of the insecticide, the population of resistant cockroaches increased. Therefore, it can be concluded that in the population there were variations in gene, genotypic and phenotypic frequencies, after the action of the insecticide, and the occurrence of resistance to the insecticide was verified. Given this fact, and the need for studies to reveal the mechanisms that are providing resistance, the proposed didactic model proved to be an efficient way to work on concepts and relationships within the content of evolution and population genetics, since the students were motivated, seeking to resolve the issues.

**Keywords:** Genetic variability; Learning; Graduation. Arthropods, Chemicals.

<sup>1</sup>Professor Associado do Dep. Biologia ICEN/CUR/UFMT: maurosvaldo@bol.com.br; sumalves@yahoo.com.br; elza.amelia@ufr.edu.br

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

## INTRODUÇÃO

Ao se pensar em trabalhar com a aplicação de modelos representativos em aulas de genética de populações, deve-se levar em consideração a multidisciplinaridade, fazendo interação com outras disciplinas, pois a partir do momento em que mais de uma disciplina está envolvida, o conhecimento se amplia e o aprendizado tende a ser bem maior, o que enriquece e aprofunda o assunto estudado e qualifica a compreensão.

A genética de populações estuda as manifestações da herança no nível populacional. Ela pode ser trabalhada com representações simplificadas da realidade, usando para isso os genes, genótipos e fenótipos, representados simbolicamente e regras operacionais capazes de traduzir os fenômenos que estão sendo estudados. Estas regras operacionais, em geral, estão sujeitas a princípios matemáticos e estatísticos, de modo que os modelos são chamados de modelos matemáticos. A grande importância desses modelos é que partem de informações obtidas por biólogos através de observação e experimentação. Os modelos fornecem meios de estimar parâmetros corretamente e permitem fazer previsões que podem ser testadas experimentalmente. Se os testes experimentais não estiverem de acordo com os modelos, estes serão rejeitados ou modificados e outros modelos mais adequados serão formulados. A cada nova informação, novos modelos podem ser estabelecidos. Os modelos permitem, portanto, um tratamento quantitativo dos fenômenos, o estabelecimento de previsões e uma maneira de testar hipóteses.

A utilização dos modelos didáticos representativos é amplamente reconhecida e diversos autores apontam a contribuição dessa metodologia na facilitação do aprendizado (MENDONÇA & SANTOS, 2011; MEDEIROS & RODRIGUES, 2012; DUSO, 2012; KLAUBERG, 2015).

A maneira teórica, como tem sido feito o ensino de genética de populações, propiciando somente a memorização de sequências de possíveis combinações entre as letras, sem que o aluno entenda o que é um gene e como ele se comporta nas gerações, torna difícil a compreensão pelo aluno, 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, a utilização de modelos didáticos representativos no ensino de Genética de Populações, 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 (GUILHERME et al., 2012; CALDERANO et al., 2014; AMORIM, 2013; MADUREIRA et al., 2016; LIMA & CAMAROTTI, 2015; PEREIRA et al., 2015; HERMANN & ARAÚJO, 2013; LIMA, 2016; MEDEIROS et al. (2021). Esses recursos são essenciais para o entendimento da caracterização genética de como se desenvolve a resistência de insetos aos inseticidas baseada no Equilíbrio de Hardy-Weinberg.

Um dos aspectos importantes do estudo da Evolução é a análise da variabilidade genética das populações e do seu comportamento ao longo das gerações. Esses aspectos constituem a preocupação fundamental da genética de populações, que procura descrever a composição genética das populações bem como sua resposta frente à atuação de fatores tais como o tipo de cruzamento, o tamanho da população, a mutação, a migração e os vários tipos de seleção. A Genética de populações, por quantificar os fenômenos evolutivos, fornece parâmetros para a análise da variabilidade genética das populações, sua origem e manutenção. Nesse contexto, vamos mostrar como essa variabilidade é caracterizada para fins do estudo da genética de populações, associando, o uso de inseticidas, um dos principais meios usados para suprimir populações de insetos.

Entretanto, segundo Bachion & Pessanha (2012), para que o ensino alcance o objetivo desejado, faz-se necessário a intervenção de estratégias diferenciadas dos professores, nas quais

busquem agir como facilitadoras do entendimento, favorecendo uma aprendizagem eficaz, o que de acordo com tais métodos devem ser trabalhados de forma que os estudantes possam ter uma noção sistêmica, ou seja, o conhecimento deve ser disseminado considerando o todo, não o fragmentando.

Assim, diante das dificuldades apresentadas pelos alunos quanto à compreensão e construção dos conhecimentos relacionados à como se desenvolve a resistência dos insetos aos inseticidas, o presente trabalho teve como objetivo a utilização de um modelo didático para facilitar o processo de ensino aprendizagem sobre o processo evolutivo, especificamente da seleção natural com a utilização dos princípios de Hardy-Weinberg, para o entendimento da origem da variabilidade genética.

## **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 um experimento simulado, no qual foi colocado para investigação, duas amostras populacionais de baratas (Figuras 1 e 2) e um questionário em anexo sobre o tema.

### **Modelo didático proposto simulando uma população sem alteração do habitat e outra com alteração do habitat por inseticida.**

O modelo didático (Figuras 1 e 2) 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 uma pesquisa (Figuras 1 e 2) analisando as diferenças genotípicas de uma população de baratas. As informações coletadas foram organizadas em tabelas para se ter um melhor entendimento das diferentes opções de respostas escolhidas pelos alunos.

### **Apresentação da situação-problema**

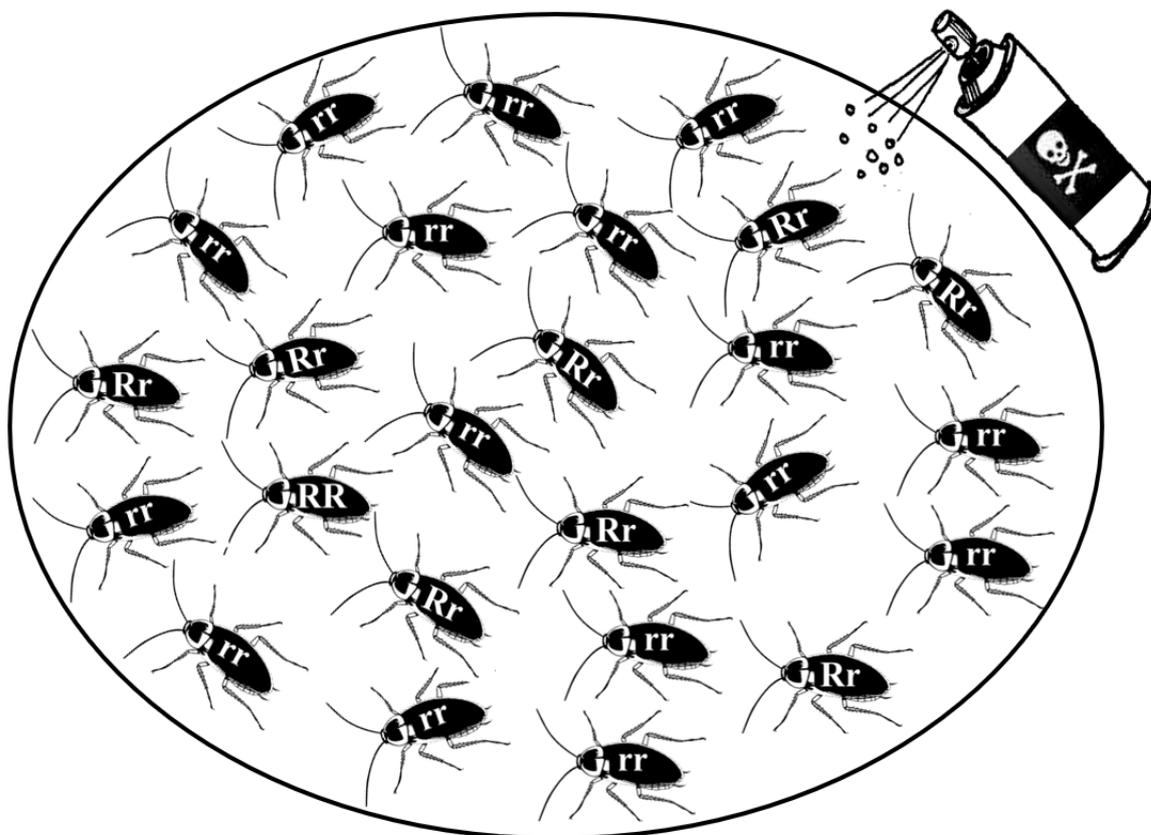
A Situação-problema apresentada teve como temática a genética de populações aplicada quando se altera o ambiente pelo uso de inseticidas para suprimir populações de insetos. O tema foi escolhido por ser um assunto no qual uma parte da população de insetos sobrevive, possibilitando uma correlação estreita com conhecimento científico trabalhado nas disciplinas de evolução e genética de populações. Foi dado ênfase, que em insetos, a pressão de seleção que resulta na evolução da resistência é o contínuo uso de inseticidas que compartilham

do mesmo modo de ação, o que favorece a sobrevivência de indivíduos portadores de genótipos resistentes. E que segundo Bernardi et al. (2016) com o passar das gerações, esse processo pode aumentar a frequência de resistência e, conseqüentemente, reduzir a eficiência do controle de inseticidas.

A Situação-Problema proposta foi a seguinte:

Foram simulados dois modelos de populações de baratas. As figuras 1 e 2, simulam de que modo as baratas hoje em dia são mais resistentes ao inseticida do que eram no passado. Evidentemente, a “resistência ao inseticida” corresponde a um caráter determinado pela existência de genes que conferem a algumas baratas a capacidade de resistir à droga produzida pelo homem. As sensíveis, desprovidas de tais genes, acabam morrendo. As resistentes transmitem seus genes aos seus descendentes. E, assim, a população de baratas como um todo se adapta ao ambiente que foi pulverizado com o inseticida. Portanto, tudo se passa como se os organismos das baratas em questão fossem capazes de se modificar em resposta a uma mudança ambiental. Na realidade, não houve modificação dos organismos em si. Em outras palavras, um grupo de baratas não resistentes foi substituído por outro grupo de baratas, agora resistentes. Os dois grupos pertencem à mesma espécie, e é nesse sentido que podemos dizer que houve “adaptação” (adequação, modificação da composição do grupo em resposta a uma mudança do ambiente). A seguir são simuladas duas populações de baratas com fórmulas genéticas (genótipos) RR, Rr e rr interagindo em dois ambientes; um natural (Figura 1) e outro que foi exposto a um inseticida (Figuras 2).

O primeiro modelo (Figura 1) foi constituído por uma população de 25 baratas com características diferenciadas, cada uma apresentando uma fórmula genética e, interagindo em um ambiente natural, sendo submetida à ação de um determinado inseticida.



**Figura 1. Modelo didático confeccionado com perspectivas de utilização no processo de ensino e aprendizagem de genética de populações, mostrando a relação de baratas com fórmulas genéticas RR, Rr e rr, interagindo no ambiente antes da aplicação do inseticida.**

O segundo modelo (Figura 2), foi constituído pelos indivíduos das duas variedades genéticas que sobreviveram a tática de controle, e a alteração ambiental pela ação do inseticida.

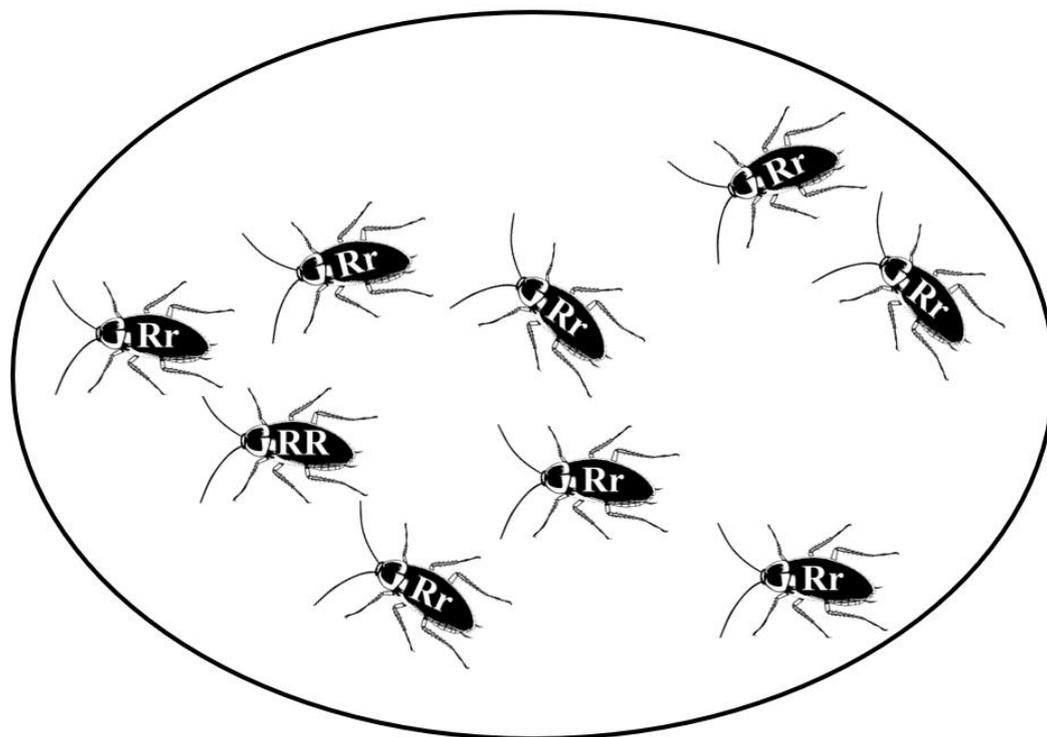


Figura 2. Modelo didático confeccionado com perspectivas de utilização no processo de ensino e aprendizagem de genética de populações, mostrando a relação de baratas com fórmulas genéticas RR, Rr e rr, interagindo no ambiente após a aplicação do inseticida.

### **Estratégia de resolução da situação-problema**

A resistência de insetos aos inseticidas é hereditária, baseada na seleção natural das espécies, sendo a linhagem de um indivíduo capaz de tolerar doses que são letais para uma população suscetível e a presença desses indivíduos adaptados perpetuam essa característica às suas próximas gerações. Assim, a estratégia de resolução da situação-problema foi com a aplicação de um experimento de caráter investigativo. A atividade utilizada foi desenvolvida através de uma simulação de uma população de baratas retratando três classes genotípicas (RR, Rr e rr) para investigação das frequências genéticas (Figuras 1 e 2).

Essa população, foi submetida a uma alteração ambiental, pela adição de inseticida. Dessa forma, foi possível analisar como o inseticida afeta a estrutura genética de uma população ideal.

As Tabelas foram ferramentas muito utilizadas, organizando os dados das questões que foram propostas e apresentando informações claras e objetivas quanto aos 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 nas imagens dos Figuras 1 e 2, a diversidade de baratas de acordo com a sua estrutura populacional e características genóticas, foi solicitado aos alunos que respondessem as questões de 1 a 10, considerando-se a dinâmica populacional postulada pelo teorema do equilíbrio de Hardy-Weinberg (HARDY, 1908; WEINBERG, 1908 apud BEIGUELMAN, 2008).

1. Faça uma pesquisa nas populações de baratas Figuras 1 e 2. E de acordo com as características dos indivíduos que forem encontrados, construa:
  - a) Uma tabela discriminando em quantidade as variedades genéticas de baratas que podem ser observadas nas duas populações simuladas das Figuras 1 e 2.
  - b) Uma tabela discriminando as frequências relativas de cada variedade genética de baratas que podem ser observadas nas duas populações simuladas das Figuras 1 e 2.
2. Que observações podem ser emitidas com base na comparação dos dados coletados nas duas populações simuladas, antes da ação do inseticida na Figuras 1 e após a ação do inseticida na Figura 2.
3. Construa uma tabela discriminando o número total e as frequências relativas dos genes alelos dominantes (R) e recessivos (r) que podem ser observadas nas duas populações simuladas das Figuras 1 e 2.
4. Qual foi o gene alelo mais e menos favorecido após a aplicação do inseticida?
5. Que frequência de baratas resistentes ao inseticida, são portadoras do genótipo heterozigoto (Rr), antes da ação do inseticida na população da Figura 1 e após a ação do inseticida na população da Figura 2? Justifique a sua resposta.
6. Caso no ambiente da Figura 2, se elimine da população todas as baratas susceptíveis (rr), e deixe apenas as baratas resistentes (RR e Rr) cruzarem entre si de maneira ao acaso, será possível o nascimento de indivíduos susceptíveis (rr) na próxima geração? Por quê?
7. Qual será a frequência esperada de descendentes de fenótipos aptos e não aptos ao inseticida, na próxima geração, considerando a população de baratas, antes da ação do inseticida (Figura 1)? Justifique suas respostas mostrando como chegou aos resultados numéricos.
8. Qual será a frequência esperada de descendentes de fenótipos aptos e não aptos ao inseticida, na próxima geração, considerando a população de baratas, depois da ação do inseticida (Figura 2)? Justifique suas respostas mostrando como chegou aos resultados numéricos.
9. O inseticida, quando foi introduzido na população de baratas na Figura 1, foi eficaz no controle da maioria da população de baratas. Entretanto, sua eficiência não foi total (Figura 2). Qual a explicação do fenômeno? Construa uma tabela, preenchendo-a com as informações obtidas nos dois grupos populacionais.
10. No estudo populacional das baratas (Figura 1), observamos que o inseticida provocou a morte de 100,0% dos indivíduos com a característica recessiva, alterando de forma brusca a

frequência do gene recessivo na população da Figura 2. Sendo assim, e supondo que após a seleção pela aplicação do inseticida, essa população aumentou para 400 baratas. Qual será os valores de  $p$  e  $q$ , também, o número esperado de cada variedade genética de baratas nessa nova população? Justifique suas respostas mostrando como chegou aos resultados numéricos.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

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 o modelo didático ilustrando duas populações de baratas (Figuras 1 e 2) impresso em uma folha em papel sulfite A4 com um roteiro de questões para execução da atividade, no qual, os discentes poderiam se organizar em grupos ou não.

As questões selecionadas referentes a Figura 1 e 2, formaram um dos pilares da sequência didática e teve o objetivo de avaliar os conhecimentos adquiridos pelos alunos sobre o tema em estudo. Elas 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.

Após a observação e análise da população de baratas (Figura 1 e 2), 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.

A Estatística foi uma ferramenta matemática muito utilizada, organizando dados e apresentando informações claras e objetivas de genes alelos, classes fenotípicas e classes genotípicas. Utilizando a população de baratas (Figura 1 e 2), foram construídas várias tabelas de frequência absoluta e frequência relativa.

### Discussão dos resultados das questões

A pesquisa desenvolvida neste trabalho realizou-se com base na aplicação e interpretação de um questionário composto por 10 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.

Para responder o item a) da questão 1, foram analisadas individualmente a população das Figuras 1 e 2, informando em dados absolutos o número de vezes em que as baratas com as fórmulas genéticas  $RR$ ,  $Rr$  e  $rr$  foram identificadas. Dessa forma, na Figura 1, a população em dados absolutos estava constituída por 25 baratas de três variações genéticas, sendo 1 barata  $RR$ , 8  $Rr$  e 16  $rr$ . Na Figura 2 por 9 baratas de duas variações genéticas, sendo 1  $RR$  e 9  $Rr$ .

Nesse contexto, o aluno ao determinar o número de vezes que cada uma das variedades das baratas era identificada, estava demonstrando a sua frequência absoluta. A construção da Tabela 1, após a coleta de dados, foi importante para comparar os dados obtidos. Portanto, independentemente do tipo de pesquisa que estamos fazendo, é inevitável calcular a frequência absoluta. Conhecemos como frequência absoluta a quantidade de vezes que um mesmo dado se repetiu no conjunto. De forma bem simples, para encontrar a frequência absoluta de um

determinado resultado, basta contar quantas vezes ele se repetiu. Dessa forma ao analisar os dados na Tabela 1, poderemos dizer, que a frequência absoluta das variedades genéticas (RR, Rr e rr) encontradas no ambiente da Figura 1, foram, respectivamente, 1, 8 e 16 genótipos. Na figura 2, foram 1 RR e 8 Rr. Com base nessa tabela, o pesquisador poderá tomar decisões sobre a melhor maneira para aplicar inseticidas.

**Tabela 1. Resultado da avaliação de frequências absolutas de ocorrência das variedades genéticas (RR, Rr e rr) nas amostras populacionais antes, Figuras 1 e, após a alteração ambiental, Figura 2, pelo inseticida.**

Fenótipos	Variedades genéticas	População - Figura 1	População - Figura 2
Resistente		1	1
Resistente		8	8
Sensível		16	0
Total		25	9

Para responder o item b) da questão 1, para o cálculo das frequências relativas, foram analisadas individualmente as informações obtidas do número de vezes em que as baratas com as fórmulas genéticas RR, Rr e rr foram identificadas (Tabela 1). Portanto, para calcular a frequência de um genótipo, devemos dividir a quantidade desse genótipo na população pelo total que compõe esta mesma população. As frequências genotípicas, no caso da situação da Figura 1, podem ser demonstradas como mostra as três seguintes relações: baratas de variedade genética RR possuíam frequência de 1 em 25 ou  $1/25$  ou 4,0%, baratas que apresentaram variedade Rr, frequência de 8 em 25 ou  $8/25$  ou 32,0% e as com variedade rr, frequência de 16 em 25 ou  $16/25$  ou 64,0%. Dessa forma, na situação (Figura 1), ao analisar a sequência de variações genéticas da população de baratas, foi observado que era constituída por três fórmulas genéticas, com frequências relativas, respectivamente, sendo 0,04 baratas RR, 0,32 Rr e 0,64 rr.

Ao analisar a sequência de variações genéticas da população de baratas, na situação da Figura 2, Tabela 2, não foi identificado a existência de baratas com as características homocigotas recessivas (rr). Dessa forma, ficou demonstrado que a população de baratas estava constituída por duas variações genéticas, sendo uma homocigota dominante (RR), frequência de 1 em 9 ou  $1/9$  ou 11,0% e, oito heterocigotas (Rr), frequência de 8 em 9 ou  $8/9$  ou 89,0%, respectivamente, 0,11 RR e 0,89 Rr.

A construção da Tabela 2, referente as frequências relativas foram muito importantes na estatística porque nos mostrou o número de vezes que um mesmo valor de variável se repetiu em relação ao conjunto, e por isso ela foi representada em número decimal. A frequência relativa foi encontrada quando dividimos a frequência absoluta pelo total de dados coletados. Quando fizemos a divisão, foi possível comparar a frequência daquele dado em relação ao todo. Utilizamos a frequência relativa para encontrar a porcentagem que aquele determinado dado representava em relação a todos os dados obtidos. Dessa forma ao analisar os dados na Tabela 2, poderemos demonstrar, que a frequência relativa das variedades genéticas de baratas (RR, Rr e rr) encontradas no ambiente da Figura 1, foram, respectivamente, 0,04,

0,32 e 0,64. Na figura 2, foram 0,11 RR e 0,89 Rr. De forma que essa tabela, o pesquisador poderá utilizar na comparação de valores de uma determinada situação. Assim, a frequência relativa representada por um número percentual oriundo da comparação entre um evento e o espaço amostral ao qual ele faz parte. No caso o ambiente na situação da Figura 1, a população foi constituída por três classes de genótipos: RR, Rr e rr, portanto, a frequência relativa nesse caso é de, respectivamente, 4,0%; 32,0% e 64,0%. Na Figura 2, o espaço amostral é constituído de dois eventos: RR ou Rr, portanto, a frequência relativa nesse caso é de 11,0% para o genótipo RR e 89,0% para o genótipo Rr.

Ressalta que esta questão, também foi aproveitada para fazer comentários sobre o significado de diversidade genotípica com base nas análises das fórmulas genéticas das baratas, o que vai de acordo ao ponto de vista de Zar (1996); Vanzolini (1993), Medeiros et al. (2021) quando ressaltaram que qualquer atributo ou estado biológico que possa diferir entre os elementos de uma população pode ser chamado de variável. Esse contexto, conduziu o aluno a idéia do significado de classe genotípica e sua probabilidade na prática, no momento em que esteve realizando a coleta dos dados.

**Tabela 2. Resultado da avaliação de frequências relativas de ocorrência das variedades genéticas (RR, Rr e rr) nas amostras populacionais, antes, Figuras 1 e, após a alteração ambiental Figura 2, pelo inseticida.**

População	Nº total de baratas	Frequência relativa de cada variedade de barata			Total das frequências
					
Figuras 1	25	0,04	0,32	0,64	1
Figuras 2	9	0,11	0,89	0,00	1

### Resolução da Questão 2.

Para uma melhor visualização e compreensão do conjunto de dados, foi elaborado a Figura 3, que permite comparar nas duas situações, o conjunto de dados referentes a distribuição das frequências das classes genotípicas antes da ação do inseticida (Figura 1) e depois da ação do inseticida (Figura 2).

Na situação da Figura 2, verificou-se que a população era constituída por 9 baratas, possuindo uma variabilidade genética com duas classes genotípicas (RR e Rr) e uma classe fenotípica (Resistente ao inseticida). Nessa situação ambiental a análise nos mostrou que as baratas que apresentaram fórmula genética RR possuíam frequência de 1 em 9 ou 1/9 ou 11,0%, as baratas que apresentaram fórmula Rr, frequência de 5 em 9 ou 8/9 ou 89,0%.

Dessa forma, as frequências que determinam os genótipos RR, Rr e rr (Tabela 2 e Gráfico 1), auxiliam no esclarecimento sobre as interações e a determinação da resistência ou sensibilidade ao inseticida. Portanto, os dados mostram que as baratas que apresentavam os genótipos homozigotos dominantes (RR) e heterozigotos (Rr), podem sobreviver por conta de uma variabilidade genética natural dentro da espécie, que as permitem sobreviver quando nas condições do inseticida. Nessas mesmas condições, as baratas que possuíam genótipos homozigotas recessivas (rr), não conseguem sobreviver. Portanto, o gene R, presente nas baratas que possuem genótipos homozigotos dominantes (RR) ou heterozigotas (Rr), confere proteção contra o inseticida.

A partir disso, se as baratas sobreviventes (RR, Rr) conseguirem passar sua característica de resistência aos descendentes, ocorre um aumento na frequência de insetos

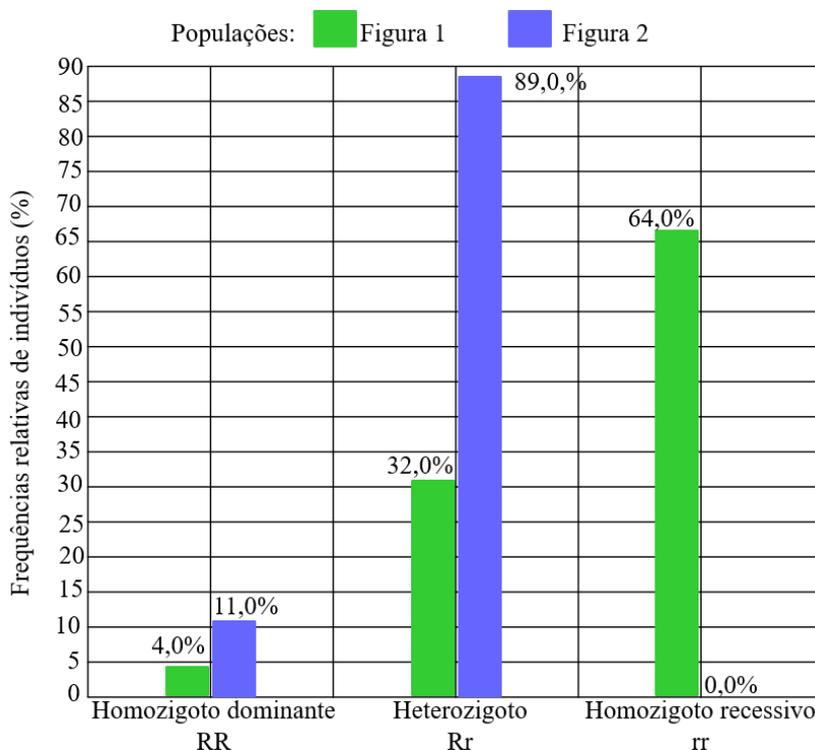
resistentes dentro dessa população. Conforme as gerações de insetos vão sendo expostas ao inseticida, esse método de controle acaba exercendo a chamada “pressão de seleção”. Assim, o uso de inseticidas em larga escala no combate aos insetos pode ser discutido com cautela, no que se refere às questões biológicas, pois, toda pressão seletiva, seja ela natural ou artificial, pode gerar consequências em uma população de insetos.

Assim, de acordo com variabilidade genética que permite a adaptação a diferentes ambientes e adversidades dentro da natureza, quando comparamos a população de baratas (Figuras 1 e 2), com base na frequência (Tabela 2 e Figura 3), a chance de se eliminar indivíduos menos resistentes ( $rr$ ) e selecionar indivíduos mais resistentes ( $RR$  e  $Rr$ ) foi muito alta. Com a reprodução destes, a população se tornaria totalmente resistente, e essa estratégia de manejo não funcionaria mais.

Segundo Gheorghiu (1983) a evolução da resistência ocorre devido à contínua pressão de seleção. É um caso típico de seleção Darwiniana em que a constante pressão de seleção aumenta a frequência relativa de alguns indivíduos “pré-adaptados” presentes na população de uma determinada espécie.

A resistência do meio ambiente são os outros fatores que limitam o crescimento de uma população natural. Isso pode depender da densidade populacional, como competição. Portanto, na ausência de fatores de regulação ambiental, qualquer população natural crescerá exponencialmente de acordo com seu potencial biótico. Desse modo, a maior população de baratas sensíveis ( $rr$ ) observadas na Figura 1 (Figura 3), limitou a taxa de crescimento populacional, reduzindo a taxa reprodutiva das baratas resistentes ( $RR$  e  $Rr$ ), gerando dinâmicas populacionais variáveis.

**Figura 3. Comparação dos resultados de ocorrência relativa das variedades genéticas ( $RR$ ,  $Rr$  e  $rr$ ) nas amostras populacionais, antes, Figura 1 e, após a alteração ambiental Figura 2, pelo inseticida.**



### Resolução da Questão 3.

A Tabela 3, foi organizada para responder à questão 3. Portanto, para calcular o número total de genes alelos nas duas situações de populações de baratas (Figuras 1 e 2), multiplicamos por dois, o número total de baratas que constitui cada população. Assim, considerando que cada barata possui dois genes alelos para cada uma das características fisiológicas (resistência ou sensibilidade). Dessa forma, foi possível demonstrar que na população (Figura 1) composta por 25 baratas, temos um total estimado de 50 genes alelos relacionados as duas características fisiológicas ambientais.

Para calcular o número total de genes dominantes (R) multiplicamos o número de baratas homocigoto dominante (RR) por dois e somamos com o número de baratas heterocigotos (Rr), como mostra a relação:  $N^{\circ}$  total de genes R = 2(RR) + (Rr). Dessa forma, foi possível demonstrar que na população (Figura 1), temos um total estimado de 10 genes dominantes (R).

Para calcular o número total de genes recessivos (r) multiplicamos o número de baratas que possuem os genótipos homocigotos recessivos (rr) por dois e somamos com o número de baratas heterocigotos (Rr), como mostra a relação:  $N^{\circ}$  total de genes r = 2(rr) + (Rr). Dessa forma, foi possível demonstrar que na população (Figura 1), temos um total estimado de 40 genes recessivos (r).

E para calcular a frequência dos genes alelos conhecidos, dividimos a quantidade desse gene alelo na população, pelo total de alelos que ocupam o mesmo locus gênico. Dessa forma, foi possível demonstrar que na população (Figura 1), temos uma frequência relativa de genes dominantes (R) igual a 0,2 ou 20,0% e genes recessivo (r) frequência de 0,8 ou 80,0%

Na Figura 2, composta por uma população de 9 baratas encontramos um total estimado de 18 genes alelos, sendo 10 genes alelos dominantes (R) determinantes de resistência ao inseticida e 8 genes alelos recessivos (r) determinantes da sensibilidade. Dessa forma, podemos demonstrar que a frequência relativa do gene dominante (R) determinante de resistência ao inseticida foi de 0,55 ou 55,0% e do gene recessivo (r) determinante da sensibilidade foi de 0,45 ou 45,0%.

**Tabela 3. Resultado de número estimado e frequência relativa de ocorrência de genes alelos (R e r) nas amostras populacionais antes, Figuras 1 e, após a alteração ambiental pelo inseticida, Figura 2.**

Figuras	Nº de genes alelos		Nº total de genes alelos	Frequência relativa do alelo	
	R	r		R	r
1	10	40	50	0,2	0,8
2	10	8	18	0,55	0,45

### Resolução da Questão 4.

Para sabermos qual foi o gene alelo mais e menos favorecido, primeiro precisamos analisar as frequências relativas de cada gene alelo (R e r) antes da ação do inseticida (Figura 1) e depois da ação do inseticida (Figura 2) que podem ser observadas, respectivamente, na Tabela 3. Essas frequências relativas foram calculadas como sendo a razão entre a quantidade de determinado gene alelo (R ou r) e o número total de observações de alelos. Desse modo, e analisando a Tabela 3 da questão 3, foi possível demonstrar que o gene alelo mais favorecido foi o de efeito dominante (R), que é o determinante da resistência ao inseticida, com crescimento da frequência relativa de 0,2 para 0,55, ou seja de 20,0% para 55,0%. O menos favorecido foi o alelo de efeito recessivo (r), determinante da sensibilidade ao inseticida, com

decréscimo da frequência relativa de 0,8 antes da ação do inseticida na Figura 1, para 0,45 depois da ação do inseticida na Figura 2, ou seja, caiu de 80,0% para 45,0%.

Vale ressaltar que, a capacidade de resistir ao inseticida constitui uma característica determinada pelo gene dominante R, que confere as baratas que são suas portadoras uma variação favorável, (sai no caso) quando a população é exposta ao inseticida. As baratas resistentes, porém, não só sobrevivem como continuam a se reproduzir, originando descendentes igualmente resistentes. Desse modo, a seleção natural direcional favoreceu as baratas portadoras do gene R, resistentes ao inseticida e que poderão aumentar suas frequências na população, geração após geração.

### **Resolução da Questão 5.**

Para responder à questão 5, foram analisadas e interpretados individualmente os dados relativos de frequências das classes genóticas da população de baratas, antes da ação do inseticida (Figura 1) e depois da ação do inseticida (Figura 2) que podem ser observadas, respectivamente, na Tabela 2.

Como a sensibilidade ao inseticida é causada pelo gene alelo de efeito recessivo (r), isso significou que as baratas de variedade genética heterozigotas (Rr) serão resistentes, mas, ao mesmo tempo, carregarão uma cópia do alelo (r) para a sensibilidade ao inseticida. Portanto, analisando a população da Figura 1, foi possível demonstrar que há 25 (1 RR + 8 Rr + 16 rr) baratas. Assim, calculando a frequência relativa, respectivamente, dividindo 8 por 25, obtemos 0,32 ou 32,0%. Dessa forma, podemos afirmar que a frequência relativa de baratas que possuem o genótipo Rr, sendo, portadoras do gene para a sensibilidade ao inseticida (r) na situação da população na Figura 1 foi de 32,0%.

Analisando a população na situação da Figura 2, foi possível demonstrar que há 9 (1 RR + 8 Rr) baratas. Assim, calculando a frequência relativa, respectivamente, dividindo 8 por 9, obtemos 0,89 ou 89,0%. Dessa forma, podemos afirmar que a frequência relativa de baratas que possuem o genótipo Rr, sendo, portadoras do gene para a sensibilidade ao inseticida (r) na situação da população na Figura 2 foi de 89,0%.

Ao comparar as populações antes da ação do inseticida (Figuras 1) e depois da ação do inseticida (Figura 2), os resultados da Tabela 2 e Figura 3, mostraram que os insetos com fórmula genética rr foram eliminados quando expostos ao defensivo. Já os especificamente de fórmulas RR e Rr apresentaram indicações de resistência ao inseticida. Esses insetos, sobreviventes, por sua vez, se acasalarão entre si e poderão produzir uma quantidade maior de descendentes RR e Rr resistentes a esse inseticida.

Dessa forma, o inseticida é uma das formas de controle, que pode ser benéfico e ajudar a eliminar as baratas (rr) quando utilizada de maneira adequada. Mas, quando utilizado indiscriminadamente, ele seleciona as populações de baratas resistentes (RR e Rr), o que propicia novas gerações também resistentes, perdendo, assim, sua finalidade inicial.

### **Resolução da Questão 6.**

Na natureza, os indivíduos de todas as espécies já nascem com uma variabilidade genética que permite a sua adaptação a diferentes ambientes e adversidades. Quando trazemos esse conceito para a situação que foi demonstrada pela ação do inseticida na Figura 2, é de se esperar que alguns poucos indivíduos sejam naturalmente resistentes, ou seja, possuem predisposição para se tornarem tolerantes a ação do inseticida utilizado. A capacidade de resistir ao inseticida constitui uma característica determinada por certos genes, que conferem aos insetos que são seus portadores uma variação "favorável", no caso de a população ser exposta ao inseticida.

Assim, do ponto de vista da reprodução, no que diz respeito a situação da população depois da ação do inseticida (Figura 2), os insetos selecionados 9 (1 RR + 8 Rr) baratas resistentes não só sobrevivem como continuam a se reproduzir, originando descendentes igualmente resistentes e, como as condições ambientais podem variar de forma não previsível, o nascimento de descendentes de baratas susceptíveis (rr) na próxima geração, é perfeitamente possível, pois, as baratas com a composição genética heterozigotas (Rr) são encontrados nessa população conforme demonstrado nas Tabelas 1 a 3 e Figura 3. E, quando essas baratas heterozigotas se acasalam entre si (Rr x Rr), se espera que resulte descendentes homozigotos recessivos (rr) não aptos ao inseticida, num valor previsto igual a 20,25% da população gerada.

### **Resolução da Questão 7.**

A Figura 1, retratou a primeira geração população de baratas antes da ação do inseticida. Dessa forma ela era composta por 25 indivíduos, distribuídas em três variedades genéticas com frequências dos genótipos: 0,04 RR + 0,32 Rr + 0,64 rr (Tabela 2). Então, as três classes genóticas RR, Rr, rr podem ser expressas pelas frequências  $p^2$ ,  $2pq$ ,  $q^2$ , deduzidas do modelo de Hardy-Weinberg em situação de equilíbrio, sendo que  $p^2 + 2pq + q^2 = 1$ .

Se considerarmos que essa população (Figura 1) se encontrava em EWH, antes da aplicação do inseticida, tínhamos:  $p^2 = 0,04$  ou 4,0% de indivíduos (RR),  $2pq = 0,32$  ou 32,0% de indivíduos (Rr) e  $q^2 = 0,64$  ou 64% de indivíduos (rr).

Como essa população apresenta 25 baratas e 16 são homozigotas recessivas (rr) e 8 são heterozigotas (Rr), temos 40 genes autossômicos recessivos, ou 0,8 ou 80,0% de genes (r) que corresponde a q. Então q é igual a 0,8. E também, 1 barata homozigota dominante (RR) e 8 heterozigotas (Rr), assim, temos 10 genes autossômicos dominantes, ou 0,2 ou 20,0% de genes (R). Como  $p + q = 1$ , temos que p é igual a 0,2 e q igual a 0,8.

Como a frequência esperada de descendentes homozigotos recessivos é calculada por  $F(rr) = q^2$ , temos que  $F(rr) = 0,8 \cdot 0,8$ . Assim sendo, a frequência esperada de descendentes de baratas com genótipo homozigoto recessivo será 0,64, ou seja, 64,0% das baratas serão (rr) e não aptas ao inseticida.

E como a frequência esperada de descendentes de baratas com genótipos heterozigotos é calculada por  $F(Rr) = 2pq$ , temos que  $F(Rr) = 2 \cdot 0,2 \cdot 0,8$ . Assim sendo, a frequência esperada de baratas heterozigotas será 0,32, ou seja, 32,0% de baratas (Rr) e aptas ao inseticida.

De descendentes homozigotos dominantes, a frequência esperada é calculada por  $F(RR) = p^2$ , assim, temos que  $F(RR) = 0,2 \cdot 0,2$ . Assim sendo, a frequência esperada de descendentes de baratas com genótipo homozigoto dominante será 0,04, ou seja, 4,0% das baratas serão homozigotas dominantes (RR) e aptas ao inseticida.

Dessa forma, as baratas de fenótipo dominante  $p^2 + 2p$ , serão aquelas com genótipos RR e Rr. E de fenótipo recessivo  $q^2$ , terão genótipos rr. Sendo assim, a frequência dos genótipos será a mesma na próxima geração. Teremos, portanto:  $F(RR) + F(Rr) = p^2 + 2pq = 0,04 + 0,32 = 0,36$  ou 36,0% das baratas serão aptas aos inseticidas; e  $F(rr) = q^2 = 0,64$  ou 64,0% das baratas serão susceptíveis ao inseticida.

Portanto, a resistência ao inseticida não pode ser totalmente entendida sem dados genéticos. Para isso, é necessária uma descrição completa da herança da resistência, que inclui a determinação do número de genes envolvidos, a relação de dominância entre genótipos e a base genética da herança cruzada (ROUSH & DALY, 1990). Segundo esses autores, os estudos da herança da resistência geralmente envolvem o cruzamento entre indivíduos suscetíveis e resistentes, em laboratório.

### Resolução da Questão 8.

A Figura 2, retratou a primeira geração população de baratas após a ação do inseticida. Dessa forma ela era composta por 8 indivíduos, distribuídos em duas variedades genéticas com frequências dos genótipos: 0,11 RR + 0,89 Rr (Tabela 2). Então as duas classes genotípicas RR, Rr podem ser expressas pelas frequências  $p^2$ ,  $2pq$ , deduzidas do modelo de Hardy-Weinberg em situação de equilíbrio, sendo que  $p^2 + 2pq + q^2 = 1$ .

Se considerarmos essa população (Figura 2) após a aplicação do inseticida, temos:  $p^2 = 0,11$  ou 11,0% de indivíduos (RR),  $2pq = 0,89$  ou 89,0% de indivíduos (Rr) e  $q^2 = 0,0$  ou 0,0% de indivíduos (rr).

Como essa população apresenta 9 baratas e 1 é homocigota dominante (RR) e 8 são heterocigotas (Rr), temos 10 genes autossômicos dominantes, ou 0,55 ou 55,0% de genes (R) que corresponde a p. Então p é igual a 0,55. E também, 8 baratas heterocigotas (Rr), assim, temos 8 genes autossômicos recessivos, ou 0,45 ou 45,0% de genes (r). Como  $p + q = 1$ , temos que p é igual a 0,55 e q igual a 0,45.

Como a frequência esperada de descendentes homocigotos recessivos é calculado por  $F(rr) = q^2$ , temos que  $F(rr) = 0,45 \cdot 0,45$ . Assim sendo, a frequência esperada de descendentes de baratas com genótipo homocigoto recessivo será 0,2025, ou seja, 20,25% das baratas serão (rr) e não aptas ao inseticida.

E como a frequência esperada de descendentes de baratas com genótipos heterocigotos é calculada por  $F(Rr) = 2pq$ , temos que  $F(Rr) = 2 \cdot 0,55 \cdot 0,45$ . Assim sendo, a frequência esperada de baratas heterocigotas será 0,495, ou seja, 49,5% de baratas (Rr) e aptas ao inseticida.

De descendentes homocigotos dominantes, a frequência esperada é calculada por  $F(RR) = p^2$ , assim, temos que  $F(RR) = 0,55 \cdot 0,55$ . Assim sendo, a frequência esperada de descendentes de baratas com genótipo homocigoto dominante será 0,3025, ou seja, 30,25% das baratas serão homocigotas dominantes (RR) e aptas ao inseticida.

Dessa forma, as baratas que apresentaram o fenótipo dominante  $p^2 + 2p$ , serão aquelas com genótipos RR e Rr. E aquelas que apresentaram fenótipo recessivo  $q^2$  terão genótipos rr. Sendo assim, teremos, na próxima geração, uma frequência de genótipos igual:

$F(RR) + F(Rr) = p^2 + 2pq = 0,3025 + 0,495 = 0,7975$  ou 79,75% das baratas serão aptas aos inseticidas; e  $F(rr) = q^2 = 0,2025$  ou 20,25% das baratas serão susceptíveis ao inseticida.

Portanto, teremos:

- $p^2 = 0,55^2 = 0,3025$  ou 30,25% de baratas homocigotas dominantes e resistentes (contra 4,0% da geração anterior)
- $2pq = 2 \times 0,55 \times 0,45 = 0,495$  ou 49,5% de baratas heterocigotas e resistentes (contra 36,0% da geração anterior)
- $q^2 = 0,45^2 = 0,2025$  ou 20,25% de baratas homocigotas recessivos e susceptíveis (contra 64,0% da geração anterior).

A população de baratas tem uma variabilidade genética natural. Na Figura 1, a maioria dos insetos eram suscetíveis aos inseticidas (rr) e bem poucos eram resistentes (RR, Rr). Ao aplicar o inseticida, os insetos suscetíveis foram eliminados. Já os resistentes, todos sobreviveram. Eles, por sua vez, se acasalarão entre si, e deixaram uma quantidade maior de descendentes resistentes. Dessa forma, a seleção natural direcional favorece os insetos resistentes ao inseticida, que irão aumentar de frequência geração após geração. A resistência a inseticidas é uma característica genética que confere mecanismos capazes de evitar ou impedir que os inseticidas atuem no processo de intoxicação, permitindo que alguns indivíduos tolerem doses de inseticidas letais à maioria da população suscetível da mesma espécie. Em um ambiente com pressão de seleção, os indivíduos com fenótipo vantajoso para a resistência são

selecionados, aumentando a frequência desses alelos nas gerações seguintes (IRAC, 2016; OMS 2016f).

### **Resolução da Questão 9.**

Quando comparamos as populações de baratas antes da ação do inseticida (Figura 1) e depois da ação do inseticida (Figura 2) na Tabela 4, observamos, que as baratas tem características genéticas diferenciadas (RR, Rr e rr). Estas diferenças tem uma grande importância para a espécie, porque são transmitidas por hereditariedade e atuam selecionando naturalmente as baratas que possuíam variações genéticas favoráveis quando expostas ao inseticida. Logo, pulverizando-se inseticida sobre esses insetos, observou-se uma redução na população, fato que correspondeu à morte dos indivíduos sensíveis.

Neste caso a seleção foi contra o alelo recessivo (r), variante de gene que determinava um inseto (rr) ser sensível ao inseticida, enquanto o alelo dominante (R) fazia-o um inseto resistente (RR e Rr). Os genótipos recessivos são reconhecidos fenotipicamente, portanto é fácil retirá-los da população. Se todos os insetos tivessem sido homozigotos recessivos, a população não teria tido como se adaptar a esse novo ambiente por seleção natural e talvez, tivesse sido extinta.

Fazendo-se uma análise conforme a Tabela 4, verifica-se que, quando foram eliminadas as baratas de genótipos homozigotos recessivos (rr) novas frequências gênicas e genotípicas foram estabelecidas.

Assim, partindo das frequências  $R = 0,2$  e  $r = 0,8$  onde a população (Figura 1) tende a 64,0% de homozigose recessiva, na Figura 2, após a ação do inseticida, observou-se que, a seleção praticamente reduziu a população a heterozigose para, a partir desse ponto, com frequências  $R = 0,55$  e  $r = 0,45$  tender ao aumento da frequência da homozigose dominante.

A baixa frequência do gene (R) na população da Figura 1, indica que a maior parte dos cruzamentos ocorria entre indivíduos que não deviam portar esse gene e, portanto, a maior parte dos descendentes não apresentava a característica relacionada a esse gene porque simplesmente não possuíam o gene (R). O contrário ocorreu na população da Figura 2, que indicava uma maior frequência do gene (R).

As informações apresentadas na Tabela 4, que classifica a frequência relativa para o gene recessivo (r) em 0,8 ou 80,0% e para o gene dominante (R) em 0,2 ou 20,0% na população da Figura 1 e, frequência relativa para o gene recessivo (r) em 0,45 ou 45,0% e para o gene dominante (R) em 0,55 ou 55,0% na população da Figura 2, estão de acordo com o estudo proposto por Hardy (1908) e Weinberg (1908) que estipula que a soma das frequências relativas dos genes alelos ( $R + r$ ) é igual a 1, quando representadas em fração ou número decimal e no caso destas estarem representadas em percentagem a soma é igual a 100%.

Como cada barata da população (Figura 1 e 2) são diploides, tem dois alelos para cada característica resistente ou sensível, as frequências relativas dos três genótipos RR, Rr e rr podem ser representadas por uma função binomial das frequências alélicas  $(R + r)^2$ , obtendo-se as estimativas matemáticas dos genótipos, como se segue:  $(R^2 + 2Rr + r^2)$ . Onde  $R^2$  é a frequência esperada do genótipo homozigoto dominante (RR);  $2Rr$  é a frequência esperada do genótipo heterozigoto (Rr) e  $r^2$  é a frequência esperada do genótipo homozigoto recessivo (rr).

Como apresentado na Tabela 4, das três classes genotípicas de baratas encontradas na população da Figura 1, 32,0% foram classificadas como heterozigotas (Rr), 4,0% homozigotas dominantes (RR) e 64,0% era homozigotas recessivas (rr). Na população da Figura 2, 89,0% foram classificadas como heterozigotas (Rr), 11,0% homozigotas dominantes (RR) e 0,0% era homozigotas recessivas (rr).

Segundo Nei & Roychoudhury (1974); Nei (1987); Griffiths et al. (2013); Medeiros et al. (2021) a quantidade de heterozigotos ( $2Rr$ ) esperada no modelo de Hardy-Weinberg, para

um dado lócus, é uma medida de variação genética bastante utilizada na investigação da variação genética populacional.

**Tabela 4. Efeito da seleção natural nas frequências de ocorrências genotípicas.**

Antes da ação do inseticida – População da Figura 1.					
Alelos	Frequências	Genótipos	Frequências absolutas	Frequências relativas	%
R	0,2	RR	1	0,04	4,0
r	0,8	Rr	8	0,32	32,0
		rr	16	0,64	64,0
<b>Total</b>	<b>1,0</b>	<b>Total</b>	<b>25</b>	<b>1,00</b>	<b>100,0</b>
Depois da seleção pela ação do inseticida – População da Figura 2.					
R	0,55	RR	1	0,11	11,0
r	0,45	Rr	8	0,89	89,0
		rr	0	0,00	0,0
<b>Total</b>	<b>1,00</b>	<b>Total</b>	<b>9</b>	<b>1,00</b>	<b>100,0</b>

### Resolução da Questão 10.

Vale ressaltar que, quando se aplicou o inseticida na Figura 1, promoveu-se uma mudança ambiental. A partir daí, o inseticida atuou promovendo uma seleção natural, eliminando as baratas sensíveis (rr) a ele; já as baratas geneticamente resistentes 11,0% RR e 89,0% Rr, sobreviveram e se reproduziram, originando uma nova população de 400 descendentes.

Assim, partindo das frequências dos genótipos da população da Figura 2: 0,11 RR + 0,89 Rr, pode-se determinar as frequências alélicas  $R = 0,55$  e  $r = 0,45$  (Tabela 4).

A frequência do alelo R será representada, por p e a frequência do alelo r será representada por q, sendo que a frequência alélica que determina os fenótipos estudados é  $p + q = 1,0$ . Dessa forma, como as estimativas matemáticas dos alelos mendelianos, agora chamados de p e q, sendo esses alelos combinados entre si, obtém-se então as estimativas matemáticas dos genótipos, como se segue:  $p^2 + 2pq + q^2$ , onde: ( $p^2$ ) refere-se ao genótipo homocigoto dominante; ( $2pq$ ) refere-se ao genótipo heterocigoto e ( $q^2$ ) refere-se ao genótipo homocigoto recessivo.

Se forem multiplicados os valores obtidos com as fórmulas anteriores pela quantidade de indivíduos da população, obter-se-ão os valores absolutos que representaram o total de genótipos. Baseado nisto, a frequência esperada de baratas homocigotas dominantes será igual a  $p^2 = 0,55 \cdot 0,55$ , e o número esperado com este genótipo deve ser  $p^2 = 0,3025$  multiplicado pelo total populacional de 400 insetos, portanto o número estimado será de 121 baratas com genótipo RR.

A frequência esperada de baratas heterocigotas será igual a  $2pq = 2 \cdot 0,55 \cdot 0,45$ , e o número esperado com este genótipo deve ser  $2pq = 0,495$  multiplicado pelo total populacional de 400 insetos, portanto o número estimado será de 198 baratas com genótipo Rr.

A frequência esperada de baratas homocigotas recessivas será igual a  $q^2 = 0,45 \cdot 0,45$ , e o número esperado com este genótipo deve ser  $q^2 = 0,2025$  multiplicado pelo total populacional de 400 insetos, portanto o número estimado será de 81 baratas com genótipo rr.

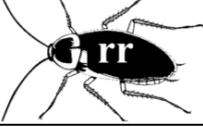
A frequência esperada de baratas resistentes a aplicação do inseticida será:  $p^2 + 2pq$ , e o número esperado com este fenótipo deve ser  $0,3025 + 0,495 = 0,7975$  multiplicado pelo total

populacional de 400 insetos, portanto o número estimado será de 319 baratas com fenótipo da resistência.

A frequência esperada de baratas sensíveis a aplicação do inseticida será:  $q^2$ , e o número esperado com este genótipo deve ser  $q^2 = 0,2025$  multiplicado pelo total populacional de 400 insetos, portanto o número estimado será de 81 baratas com fenótipo sensível.

De acordo com Beaty & Marquardt (1996); Bernardi et al. (2016), os indivíduos com mutações vantajosas relacionadas ao fenótipo de resistência possuem maior probabilidade de sobreviverem a tratamentos com inseticidas e contribuir com uma prole maior que aqueles indivíduos suscetíveis, resultando no aumento da frequência do gene que confere resistência nas próximas gerações. E segundo Hemingway & Ranson (2000) a propagação de resistência a inseticidas em populações de insetos está relacionada com a frequência de sua utilização e é resultante não apenas da pressão seletiva desses compostos tóxicos sobre estas populações, como das características herdadas das espécies de insetos envolvidas.

**Tabela 5. Estimativas de ocorrência das variedades genéticas (RR, Rr e rr) exibidos pelo crescimento populacional, após a alteração ambiental pelo inseticida, Figura 2.**

Fenótipos	Variedades genéticas	Frequências relativas	População - Figura 2
Resistente		$p^2 = 0,3023$	130
Resistente		$2pp = 0,495$	328
Sensível		$q^2 = 0,2025$	81
Total		1,00	400

Há anos que se sabe do fenômeno evolucionário da resistência (DOBZHANSKY, 1951). Assim, a aplicação constante do inseticida pode aumentar o número de insetos adaptados a essa determinada alteração ambiental. Segundo Carmo & Martins (2006) no processo evolutivo a seleção natural desempenha um papel importante para a perpetuação de uma determinada espécie. Nesse processo atuam os fatores ambientais e genéticos, que ocasionam a adaptação ao meio, através da sobrevivência dos mais aptos. Para Darwin (1858, 1859) e Wallace (1858), a seleção natural atua sempre no sentido de preservar as variações que forem úteis para a espécie.

No que se refere às idéias trabalhadas no assunto de Seleção Natural, o recurso didático possibilitou simular de forma prática como ocorria o processo explanado durante o momento de apresentação, o que permitiu aos alunos participantes visualizar, de forma dinâmica, como se procedem os fatores evolutivos. Da mesma forma, as Figuras 1 e 2 relativas à Seleção Natural viabilizou uma compreensão mais abrangente da evolução e da genética de populações e, como outros conceitos estão intimamente relacionados com estas disciplinas. Assim, o emprego desse recurso resultou não somente a compreensão da temática abordada, como também forneceu subsídios para que o aluno participante pudesse relacionar o conhecimento adquirido com suas concepções prévias acerca da Evolução e da Genética de Populações. Ademais, vale ressaltar que a utilização de materiais de baixo custo e de métodos dinâmicos podem contribuir de forma significativa para o processo de aprendizagem dos estudantes, sobretudo em escolas que não

disponham de muitos recursos. Esse tipo de metodologia pode possibilitar ao professor fornecer formas mais acessíveis e democráticas de aquisição de novos conhecimentos.

O método das frequências, que foi aplicado no desenvolvimento das atividades propostas para verificar como a seleção natural age sobre a variação genética do inseto antes e após o uso de inseticida (Figuras 1 e 2), revelou que os alunos são movidos pela curiosidade e pelo desejo de conhecer e aprender. No decorrer da atividade, muitas dúvidas foram discutidas e elucidadas, demonstrando um indicativo de nível de entusiasmo e motivação em relação as atividades que foram propostas. Sendo assim, esse recurso didático pode ser utilizado como alternativa para facilitar o aprendizado dos conteúdos de genética de populações.

Assim, diante das respostas positivas dadas pelos alunos em relação as questões de 1 a 10, comprovamos a importância da utilização de alternativas que venham a facilitar a aprendizagem sobre o processo evolutivo, especificamente da seleção natural com a utilização dos princípios de Hardy-Weinberg, para o entendimento da origem da variabilidade genética. Para os alunos essa metodologia utilizada, além de facilitar a compreensão de conhecimentos estatísticos como de frequência absoluta e frequência relativa, foram recursos que tornaram os assuntos abordados na sala de aula mais atraentes e que atuaram como facilitadores da compreensão dos mecanismos da hereditariedade em nível populacional, levando em conta as duas amostras aleatórias de baratas nas populações das Figuras 1 e 2.

O modelo didático proposto, também serviu como um momento de interação para os alunos, onde eles compartilharam conhecimentos, trabalharam em grupo e buscaram soluções para o cumprimento da tarefa, todos deram sua contribuição para a resolução de todos os questionamentos.

Assim sendo, do nosso ponto de vista o modelo didático (Figuras 1 e 2) foi importante, pois facilitou a aprendizagem, instigou os alunos ao trabalho em grupo na construção coletiva do conhecimento e a união entre a teoria e a prática. De acordo com Krasilchik (2008) para o aluno, uma disciplina pode ser atraente ou insignificante, e essa perspectiva depende somente da forma como é ensinada.

Portanto, é fundamental para os professores de evolução e genética de populações a busca por formas diferenciadas de ensino, que despertem no aluno a curiosidade e o entusiasmo necessário 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, busquem minimizar as dificuldades existentes, proporcionando assim uma aprendizagem mais eficaz (SOUSA, 2012).

Atualmente a educação se encontra em transformação. O modelo atual de ensino, onde os alunos normalmente são dependentes da orientação do professor, e geralmente não são utilizadas metodologias diferenciadas e variadas, demonstrando que o processo ensino-aprendizagem não está alcançando seus objetivos. O uso de diferentes metodologias vem proporcionando alternativas de aprendizagem e vem contribuindo para um processo ensino-aprendizagem mais significativo e que pode despertar mais interesse dos alunos nas aulas. De acordo com isso, Masseto (2007) afirmou que novas técnicas desenvolvem a curiosidade dos alunos e os instigam a buscarem, por iniciativa própria, as informações de que precisam para resolver problemas ou explicar fenômenos que fazem parte de sua vida.

Segundo os autores Setúval & Bejarano (2009); Karasawa & Gonçalves (2011); Bastos & Faria (2011); Almeida (2013); Matos (2014); Corpe & Mota (2014); Ferreira (2015); Medeiros et al. (2021) a utilização de um modelo didático é um recurso bastante importante, sendo uma forma de facilitar o processo de ensino e de aprendizagem, tendo por função proporcionar o conhecimento de maneira dinâmica e efetiva através do uso de cores, formas e texturas, tornando o ensino mais prazeroso e agradável.

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.

Bassanezi (2006) relatou que é importante desenvolver metodologias menos alienadas, para isso a disciplina deve estar comprometida com a realidade dos alunos e mais próxima a ela assim, para uma compreensão mais satisfatória, faz-se necessária à sua interdisciplinaridade com outras áreas do conhecimento humano, que são disciplinas que estão mais próximas do cotidiano dos alunos, tornando o processo de ensino-aprendizagem mais eficaz.

Sampaio & Silva (2012) citou que a biomatemática é utilizada para resolver e aproximar soluções de alguns problemas de biologia utilizando métodos e modelos matemáticos, para formular, estudar e desvendar as dificuldades biológicas. Assim, vem crescendo a relação dessas duas ciências de forma interdisciplinar, e mostrando que para que se possa entender a genética de populações, o aluno deve ter conhecimentos em matemática, pois ela será utilizada em cálculos genéticos como a probabilidade de alguns eventos que venham a acontecer, crescimento de populações, porcentagens, entre outros.

Mendonça & Santos (2011); Medeiros & Rodrigues (2012); Duso (2012); Klauberg (2015); Meira et al. (2015) observaram que os benefícios da utilização dos modelos didáticos são amplamente reconhecidos e que diversos autores apontaram a contribuição dessa metodologia na facilitação do aprendizado e que esse tipo de recurso pode ser capaz de unir teoria e prática, fazendo da aula um momento não só de aprendizagem, mas também de interação, participação e criatividade.

Segundo os autores Souza et al. (2008) em algumas escolas, poderemos nos deparar com escassez de material para a realização de aulas práticas. E em meio a essas dificuldades, teremos que utilizar materiais de baixo custo. Observando que, com a utilização desses materiais foi possível desenvolver aulas mais atraentes e motivadoras.

No entanto apesar da eficiência e contribuição para o ensino, esse recurso ainda é muito pouco utilizado pelos professores. Dentre as causas, o estudo realizado por Sousa (2015) cita a falta de material disponível na escola, a carga horária insuficiente para a confecção do recurso didático, a desmotivação em executar atividades deste tipo, como também por não haver cooperação dos alunos na confecção dos materiais, dentre outros fatores.

Em conjunto, o resultado exposto nas Tabelas de 1 a 4 e Figura 3 e as respostas obtidas e relatadas nas questões de 1 a 10, sugerem que a utilização do modelo didático como atividade (Figura 1 e 2) possibilitou maior interação entre o conhecimento do professor e dos alunos. Ainda serviu como atividade de reforço e fixação de conteúdos de evolução e genética de populações previamente desenvolvidos nas aulas e avaliação do aprendizado. Ao unir o conhecimento científico ao modelo didático (Figura 1 e 2), a aula se tornou mais atraente, com mais participação dos alunos e maior capacidade de prender a atenção dos discentes para os conteúdos de evolução e genética de populações que foram trabalhados.

De acordo com Masseto (2007), utilizar diferentes técnicas faz com que os alunos desenvolvam sua curiosidade e busquem as informações necessárias para responder a determinadas questões e resolver os problemas a eles submetidos. A diferenciação e a variedade de técnicas quebram a rotina das aulas e assim os alunos se sentem mais animados em frequentá-las. Além disso, facilitam a participação e incentivam as atividades dinâmicas durante o período das aulas, levando os aprendizes a saírem da situação passiva de espectadores da ação individual do professor.

Na utilização do modelo didático (Figura 1 e 2) o aluno se deparou com situações que não demonstravam claramente o conteúdo da evolução e da genética que estavam envolvidos. Assim, os alunos puderam resolver os questionamentos à que foram submetidos de formas diferentes. Não houve uma fórmula a seguir, mas sim, várias que poderiam resolver um mesmo questionamento. Segundo Skovsmose (2007), a maneira como um aluno irá resolver os

problemas propostos, tem relação direta com suas experiências prévias e seus interesses. Os alunos demoram a perceber a relação da evolução e da genética com situações reais do dia-a-dia.

Nesse sentido, a aplicação de diferentes procedimentos didáticos pode favorecer a elaboração de conhecimentos implícitos, que podem ser inseridos para responder questões e resolver problemas (BORGES, 1999).

Concordamos com Silva et. al. (2012) que afirmaram que os conceitos abordados no ensino de genética são, geralmente, de difícil assimilação, sendo necessárias práticas que auxiliem no aprendizado dos alunos. Dessa forma, métodos inovadores de ensino que envolvam arte, modelos e jogos mostram-se promissores para serem aplicados durante a prática pedagógica.

Segundo Giordan e Vecchi (1996, apud PUCCI et al., 2011) “os modelos são elementos facilitadores que os educadores podem utilizar para ajudar a vencer os obstáculos que se apresentam no difícil caminho da conceitualização”. Para Vygotsky (2001), a aquisição de significados é um processo coletivo, partilhado, feito nas interações em que cada indivíduo se apropria e reconstrói esses significados, processos observados ao longo da dinâmica.

Considerando o exposto acima pelos autores, observamos pela análise dos livros didáticos que a abordagem dos conteúdos da evolução e genética de populações não é feita de forma que produza sentido para o aluno. Além disso, a análise dos itens de avaliação de larga escala ilustra a dificuldade dos alunos com conceitos da estatística, que são fundamentais para esse ensino. Acreditamos que a nossa sequência didática, que utilizou a abordagem visual para ensinar conceitos fundamentais probabilístico e estatístico sobre as inter-relações entre os parâmetros hereditários de interesse e as variações dos genes alelos observados, possibilitará a diversidade de resolução de um mesmo problema, auxiliando e estimulando o aluno na criação de sua própria técnica, eliminando fórmulas e regras sem sentido.

Ficou evidente a importância desse recurso, sendo a aplicação do modelo com populações de baratas uma ferramenta importante para o ensino de evolução e genética de populações, pois o seu uso, dinamizou a aula, facilitando na compreensão, referente ao conteúdo que foi abordado.

Enfim, esperamos que este trabalho contribua para os conhecimentos sobre os temas e que, além disso, possa contribuir para a sensibilização dos professores da necessidade de trabalhar com situações problemas que envolvam a evolução e genética de populações.

## CONCLUSÃO

Concluiu-se que na população hipotética de baratas houve variações nas frequências gênicas, genotípicas e fenotípicas, depois da ação do inseticida, sendo que foi constatada a ocorrência de resistência ao inseticida.

Diante desse fato, e da necessidade de estudos para a evidenciação dos mecanismos que estão conferindo resistência, o modelo didático proposto, mostrou-se uma forma eficiente para trabalhar com a interdisciplinaridade dentro do conteúdo de evolução e genética de populações, visto que os alunos ficaram motivados, procurando resolver as questões. Não sendo verificadas questões sem resoluções. Notou-se que o modelo didático proposto aguçou a curiosidade dos alunos e tornou a aula mais participativa e investigativa.

Foram registradas muitas respostas espontâneas, desvinculadas de conceitos pré-definidos em livros didáticos. Dessa forma foi verificado um aumento significativo de conhecimento ao longo das atividades, para as 10 questões formuladas.

Isso mostrou a propriedade do modelo didático utilizado em despertar o interesse e estimular o raciocínio e a criatividade ao resolver as 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 o preenchimento das tabelas.

Observou-se que os alunos gostaram da experiência e que conseguiram aplicar e compreender o princípio de Hardy-Weinberg, como também os fatores evolutivos, além de reforçar o conteúdo sobre a transmissão das características hereditárias. Desse modo, ressaltamos a necessidade de criação de alternativas didáticas como a relatada nesse trabalho, objetivando facilitar o aprendizado e fixação do aluno no conteúdo estudado, principalmente em conceitos que utilizam conhecimentos biológicos associados a matemática, como no caso proposto neste trabalho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, L. **Reação em cadeia da polimerase (PCR) do laboratório à sala de aula**. 2013. 32 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) Universidade Federal do Piauí, Parnaíba, 2013.

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

BACHION, M. A; PESSANHA, M. C. R. Análise das metodologias de ensino adotadas em sequências didáticas de ciências: uma reflexão sobre a prática docente. In: Encontro Nacional de Didática e Práticas de Ensino, 16, 2012, Campinas. Anais... Campinas: UNICAMP, 2012.

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.

BASTOS, K. M.; FARIA, J. C. N. M. Aplicação de modelos didáticos para abordagem da célula animal e vegetal, um estudo de caso. **Enciclopédia Biosfera**, Centro científico conhecer, Goiânia, v. 7, n. 13, p. 1867-1877, out/nov. 2011.

BEATY, B.J., MARQUARDT, W.C. The biology of diseases vectors. University Press of Colorado. 1996.

BEIGUELMAN, B. Genética de populações humanas. Ribeirão Preto: SBG, 2008. 235p.

BERNARDI, Oderlei et al. Manejo da Resistência de Insetos a Plantas Bt. **Edição. PROMIP–Manejo Integrado de Pragas, Engenheiro Coelho, SP, Brasil**, 2016.

BORGES, A. T. Como evoluem os modelos mentais. Ensaio. v. 1, 1999.

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.

CARMO, V. A; MARTINS, L. A. P. Charles Darwin, Alfred Russel Wallace e a seleção natural: um estudo comparativo. *Filosofia e História da Biologia*, v. 1, p.335-350, 2006.

CORPE, F. P.; MOTA, E. F. Utilização de modelos didáticos no ensino-aprendizado em imunologia. **Revista da SBEnBio**, Niterói, v. 7, p. 2070-2080, out. 2014.

DARWIN, C. On the tendency of species to form varieties. *Journal of the Linnean Society of London*, 3: 45-50. 1858. Darwin, C. A origem das espécies. 3a ed. São Paulo. Editora Martin Claret. Tradução. 1859 (2004).

DARWIN, C. The Descent of Man, and Selection in Relation to Sex. London: John Murray. 620 p. ISBN N/A. 1871.

DOBZHANSKY, T. Genetics and the origin of species. New York: Columbia University Press, 1951.

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.

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.

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

GEORGHIOU, G. P. Principles of insecticide resistance management. **Phytoprotection**, v. 75, n. 4, p. 51-59, 1994.

GEORGHIOU, G. P. Management of resistance in arthropods. In: **Pest resistance to pesticides**. Springer, Boston, MA, 1983. p. 769-792.

GRIFFITHS, A. J. F. et al. Introdução à Genética. 10. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013.

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.

HEMINGWAY, J., RANSON, H. Insecticide Resistance in Insect Vectors of Human Disease. *Annu. Rev. Entomol.* 45, 371-391. 2000.

HERMANN, F. B.; ARAÚJO, M. C. P. 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.

IRAC. IRAC Mode of Action Classification Scheme. 2016;8.1:1–26. Disponível em: [www.iraconline.org](http://www.iraconline.org)

KARASAWA, M. M. G.; GONÇALVES, T. M. Modelos didáticos aplicados ao ensino da estrutura da molécula de DNA e RNA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GENÉTICA, 57., 2011, Águas de Lindóia. **Resumos...** São Paulo: SBG, 2011. p. 21.

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.

KRASILCHICK, M. **Prática de ensino de biologia**. 4º Ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2008.

LIMA, C. R. S. Utilização da experimentação como ferramenta para o processo ensino aprendizagem dos conteúdos de genética em uma escola pública da Paraíba. In: CONGRESSO NACIONAL DE EDUCAÇÃO, 3., Natal, 2016. **Anais...** Rio Grande do Norte: CONEDU, 2016.

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.

MASSETO, M. T. Ensino de Engenharia: Técnicas para Otimização das Aulas. Avercamp Editora, São Paulo, 2007.

MATOS, W. A. A. **Jogo didático no ensino médio como facilitador do ensino aprendizagem do sistema sanguíneo ABO**. 2014. 33 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) Universidade Federal do Piauí, Parnaíba, 2014.

MEIRA, M. S. et al. Intervenção com modelos didáticos no processo de ensino aprendizagem do desenvolvimento embrionário humano: uma contribuição para a formação de licenciados em ciências biológicas. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 37, n. 2, 2015, p. 301 - 311, maio/ago. 2015.

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 Cristóvão, 2011. **Anais...** Sergipe, 2011.

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.

MEDEIROS, K. C. R. Análise da eficiência do uso de um modelo didático para o ensino de citogenética. *Estudos*, Goiânia, v. 39, n. 3, 2012, p. 311-319, jul/set. 2012.

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 Cristóvão, 2011. **Anais...** Sergipe, 2011.

NEI, M., ROYCHOUDHURY, A. K. Sampling variances of heterozygosity and genetic distance. *Genetics* 76:379-390. 1974.

OMS-OPAS. Number of reported cases of chikungunya fever in the Americas, by country or territory 2016. Cumulative cases. Pan Am Heal Organ. 2016.

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.

PUCCI, M.; PIRAZZI, V.; PASQUARIELLO, N.; MACCARRONE, M. Endocannabinoid signaling and epidermal differentiation. *Eur J Dermatol* **2**: 29– 34. (2011).

ROUSH, R.T.; DALY, J.C. The role of population genetics in resistance research and management, p. 97- 152. In R.T. Roush & B.E. Tabashnik (eds.), *Pesticide resistance in arthropods*. New York, Chapman and Hall, 303p. (1990).

SAMPAIO, C. F.; SILVA. A. G. Uma Introdução a Biomatemática: A importância da Transdisciplinaridade entre Biologia e Matemática. In: COLÓQUIO INTERNACIONAL “EDUCAÇÃO E CONTEMPORANEIDADE”. 4. 2012, Sergipe. **Anais...**Sergipe: UFSE, 2012.

SETÚVAL, F. A. R.; BEJARANO, 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. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 7., 2009, Florianópolis. **Anais...** Santa Catarina: ENPEC, 2009.

SILVA, M. A. S.; SOARES, I. R.; ALVES, F. C.; SANTOS, M. N. S. Utilização de recursos didáticos no processo de ensino e aprendizagem de ciências naturais em turmas de 8º e 9º anos de uma escola pública de Teresina no Piauí. VII CONNEPI, 2012.

SKOVSMOSE, Educação crítica: incerteza, matemática, responsabilidade. Tradução de Maria Aparecida Viggiani Bicudo. São Paulo: Ed. Cortez, 2007.

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

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.

SOUSA, J. M. T. **Importância da utilização de recursos didático-pedagógicos no ensino de genética em escolas públicas no município de Parnaíba - Pi**. 2015. 42 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) Universidade Federal do Piauí, Parnaíba, 2015.

SOUZA, D. C.; ANDRADE, G. L. P.; NASCIMENTO JUNIOR, A. F. Produção de material didático-pedagógico alternativo para o ensino do conceito pirâmide ecológica: um subsídio a educação científica e ambiental. In: Fórum Ambiental da Alta Paulista. 4. 2008, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ANAP, 2008.

VANZOLINI, P. E. Métodos estatísticos elementares em sistemática zoológica. Hucitec, São Paulo 130p. 1993.

VIGOTSKY, L.S. (2001). *Psicologia Pedagógica*. São Paulo: Martins Fontes.

WALLACE, A. R. Sobre a lei que regula a introdução de novas espécies. Tradução. *Scientiae Studia* 1(4): 531-543. 1855 (2003).

WALLACE, A. R. On the tendency of varieties to depart indefinitely from the original type. *Proceedings of the Linnean Society of London*. 3, 53–62. 1858.

WEINBERG W. Ueber den Nachweis der Vererbung beim Menschen. *Jh. Ver. vaterl. Naturk. Wuertemb.* 64:369–382. 1908.

ZAR, J.H. *Biostatistical analysis*. 3rd.ed. Prentice Hall, New Jersey 662p + Tabs. 1996.