

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE BIOLOGIA EM REDE NACIONAL -
PROFBIO

ARIVONALDO VANIEL DA SILVA

ENSINO DE MUTAÇÕES GÊNICAS E HERANÇA DE GENÉTICA CLÁSSICA A
PARTIR DE ATIVIDADES INVESTIGATIVAS BASEADAS EM UM MODELO
ANIMAL: Drosophila melanogaster

Maceió/AL

2024

ARIVONALDO VANIEL DA SILVA

ENSINO DE MUTAÇÕES GÊNICAS E HERANÇA DE GENÉTICA CLÁSSICA A
PARTIR DE ATIVIDADES INVESTIGATIVAS BASEADAS EM UM MODELO
ANIMAL: Drosophila melanogaster

Trabalho de Conclusão de Mestrado apresentado à coordenação do Mestrado Profissional em Ensino de Biologia em Rede Nacional da Universidade Federal de Alagoas (PROFBIO/UFAL) como requisito para a obtenção do grau Mestre em Ensino de Biologia, orientado pelo Prof. Dr. Lucas Anhezini de Araujo.

Orientador: Prof. Dr. LUCAS ANHEZINI DE ARAUJO

Maceió/AL.

2024

Catálogo na Fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecário: Marcelino de Carvalho Freitas Neto – CRB-4 – 1767

S568e Silva, Arivonaldo Vaniel da.

Ensino de mutações gênicas e herança de genética clássica a partir de atividades investigativas baseadas em um modelo animal : *Drosophila melanogaster* / Arivonaldo Vaniel da Silva. – 2024.

134 f. : il. color.

Orientador: Lucas Anhezini de Araujo.

Dissertação (Mestrado em Ensino de Biologia) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Ciências Biológicas e da Saúde. Programa de Pós-Graduação Profissional em Ensino de Biologia em Rede Nacional. Maceió, 2024.

Bibliografia: f. 66-68.

Apêndices: f. 69-134.

1. Mutações genéticas. 2. Herança genética clássica. 3. Artrópodes. 4. Aprendizagem. I. Título.

CDU: 575.224.2

ARIVONALDO VANIEL DA SILVA

ENSINO DE MUTAÇÕES GÊNICAS E HERANÇA DE GENÉTICA CLÁSSICA A
PARTIR DE ATIVIDADES INVESTIGATIVAS BASEADAS EM UM MODELO
ANIMAL: Drosophila melanogaster

Trabalho de Conclusão de Mestrado apresentado à coordenação do Mestrado Profissional em Ensino de Biologia em Rede Nacional da Universidade Federal de Alagoas (PROFBIO/UFAL) como requisito para a obtenção do grau Mestre em Ensino de Biologia, orientado pelo Prof. Dr. Lucas Anhezini de Araujo.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Lucas Anhezini de Araujo
Universidade Federal de Alagoas

Jaiurte Gomes Martins da Silva
Universidade Federal de Alagoas

Prof. Dr. Jorge Luiz Lopes da Silva
Universidade Federal de Alagoas

RELATO DO MESTRANDO

Universidade Federal de Alagoas - UFAL

Instituto de Ciências Biológicas e da Saúde - ICBS

Mestrado Profissional em Ensino de Biologia em Rede Nacional - PROFBIO

Titulo do Trabalho de Conclusao de Mestrado – TCM

ENSINO DE MUTAÇÕES GÊNICAS E HERANÇA DE GENÉTICA CLÁSSICA A PARTIR DE ATIVIDADES INVESTIGATIVAS BASEADAS EM UM MODELO ANIMAL: *Drosophila melanogaster*

Mestrando: Arivonaldo Vaniel da Silva

O Mestrado Profissional em Ensino de Biologia em Rede Nacional – PROFBIO, me trouxe situações desafiadoras, dentre elas, conciliar a minha vida profissional com as demandas do PROFBIO, ao mesmo tempo, expôs fragilidades na minha formação que ficaram bem evidentes durante a realização dos três exames de qualificação, essas fragilidades me fizeram perceber a necessidade imediata de buscar conhecimentos não apenas para poder continuar o curso, mas também para realizar o meu trabalho com mais qualidade.

A reflexão sobre a metodologia do ensino de biologia e a possibilidade de desenvolver uma prática de ensino baseada em atividades investigativas com potencial para ressignificar e estimular o aprendizado, me levaram a perceber a urgência de modificar minha metodologia de ensino na educação básica ainda que essa mudança fosse implementada Gradativamente. A Aplicação das Atividades em Sala de Aula (AASA), orientadas por um professor, seguida de apresentação e discussão dos resultados da aplicação da AASA para uma banca, contribuiu para eu compreender as possibilidades de desenvolver propostas de ensino por investigação.

Seguindo a proposta de ensino por investigação, procurei desenvolver um TCM baseado em ensino por investigação que gerasse como produto, uma sequência didática investigativa, durante todo esse processo, foram determinantes as orientações e apoio do professor Dr. Lucas Anhezini de Araujo, que gentilmente, não apenas me orientou, mas também abriu as portas do Laboratório de Análise *in vivo* da Toxicidade (LAVITOX), do Instituto de Ciências Biológicas e da Saúde (ICBS) para que eu pudesse fazer um treinamento e assim, desenvolver o TCM e a sequência didática investigativa com a

temática citada acima.

Os vários desafios que surgiram ao longo do PROFBIO, contribuíram para que eu pudesse melhorar meus conhecimentos em biologia, compreender a importância de buscar continuamente novos conhecimentos e o aperfeiçoamento profissional, bem como, vislumbrar novas possibilidades de proporcionar práticas de ensino mais instigantes na educação básica.

Não seria possível conseguir superar os desafios citados e obter êxito, sem o apoio e a contribuição imensa de todos os professores desse programa, da minha irmã de coração Laodicéia Rodrigues de Albuquerque e a parceria dos meus colegas de curso Carla Guedes de Mattos, Sandra Vanessa da Silva, Celso Evanderly da Silva Viana e Maria de Oliveira. Nesse sentido, deixo registrado aqui, os meus agradecimentos a todos os docentes do PROFBIO, que gentilmente, contribuíram para meu aprimoramento ensinando novos conhecimentos e mostrando novas possibilidades. Deixo meus agradecimentos especiais aos professores Jorge Luiz Lopes da Silva, Müller Ribeiro Andrade, Regianne Umeko Kamiya, Gilberto Costa Justino e Amanda Lys dos Santos Silva, sem suas contribuições inestimáveis, eu não teria conseguido.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES).

Dedico

A minha amada mãe Judite
Justina da Silva (*in memoriam*),
que sempre me incentivou.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus professores e colegas por me ajudarem a desenvolver este trabalho. LUCAS ANHEZINI DE ARAUJO, meu orientador que considero amigo, pela dedicação e precisão nas orientações,

LAODICÉIA RODRIGUES DE ALBUQUERQUE, minha irmã de coração que a vida me deu de presente, pelas palavras de apoio nos momentos difíceis,

CELSE EVANDERLY DA SILVA VIANA, meu amigo e companheiro de curso, CARLA GUEDES DE MATTOS, minha amiga e companheira de curso, pelo abraço caloroso e revitalizador e SANDRA VANESSA DA SILVA, minha amiga e companheira de curso.

Um agradecimento especial aos professores:

JORGE LUIZ LOPES DA SILVA, MÜLLER RIBEIRO ANDRADE, REGIANNE UMEKO KAMIYA, GILBERTO COSTA JUSTINO e AMANDA LYS DOS SANTOS SILVA, pela dedicação especial além de suas funções.

Aos demais professores e colegas do curso e aos estudantes do 3º ano B da escola Simôa Gomes.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES).

"Se cheguei até aqui foi porque me apoiei no ombro dos gigantes." (Isaac Newton)

RESUMO

Ao longo da história da educação brasileira, a ciência foi determinada por uma ideologia acadêmica e internacional, segundo a qual, a metodologia e a produção científica deveriam ser restritas ao ambiente acadêmico. Além disso, essa ideologia determinou o modo de construir ciência e, esse modelo sofreu com instabilidades políticas e medidas autoritárias. O método de ensino de biologia nas instituições escolares foi durante muito tempo caracterizado por apresentar grandes quantidades de terminologias e descrições extensas de processos e estruturas biológicas. Baseado nessa observação, esse projeto foi desenvolvido na escola Simôa Gomes, localizada em Garanhuns-PE, tendo como objetivo geral realizar estudos baseados em investigação científica utilizando um organismo modelo, a espécie *Drosophila melanogaster*, visando uma aprendizagem significativa para entender como mutações gênicas e herança de genética clássica produzem características fenotípicas. A hipótese desse projeto é que a utilização da investigação científica utilizando *Drosophila melanogaster* possibilitará construir processos dinâmicos e significativos de ensino e aprendizagem sobre mutações gênicas e herança de genética clássica, representando aprimoramento das práticas de ensino no ensino médio. O interesse na investigação científica utilizando um modelo animal surgiu mediante a necessidade de utilizar processos de ensino eficazes a fim de promover uma aprendizagem significativa e da potencialidade de tal modelo como objeto de estudo a ser investigado, a partir do qual, muitos processos biológicos podem ser compreendidos. Quanto aos resultados, ao observar as respostas dos alunos nas atividades desenvolvidas durante a realização da sequência didática, notou-se que mais de 70% dos estudantes acertaram as respostas das atividades propostas, assim, foi possível perceber que houve compreensão em relação a como as características são transmitidas ao longo das gerações, ou seja, como as mutações genéticas do cromossomo II e III de *D. melanogaster* se segregam independente durante a formação dos gametas na Geração Parental e produzem características fenotípicas que se combinam de diferentes maneiras nos indivíduos da Geração F1 em comparação às características fenotípicas da Geração Parental que os originou. O ensino investigativo tem potencial para promover o aprofundamento no conhecimento científico sobre diversas temáticas em biologia e fornecer subsídios para refletir, discutir e replanejar a prática de ensino nas instituições que se destinam a essa finalidade.

Palavras-chave: Mutações genéticas; Herança genética clássica; Artrópodes; Aprendizagem.

ABSTRACT

Throughout the history of Brazilian education, science was determined by an academic and international ideology, according to which methodology and scientific production should be restricted to the academic environment. Furthermore, this ideology determined the way of building science and this model suffered from political instability and authoritarian measures. The biology teaching method in school institutions was for a long time characterized by presenting large amounts of terminologies and extensive descriptions of structures and biological processes. Based on this observation, this project was developed at the Simôa Gomes school, located in Garanhuns-PE, with the general objective of carrying out studies based on scientific investigation using a model organism, the *Drosophila melanogaster* species, aiming at significant learning to understand how gene mutations and inheritance of classical genetics produce phenotypic characteristics. The hypothesis of this project is that the use of scientific research using an animal specimen: *Drosophila melanogaster*, will make it possible to build dynamic and meaningful teaching and learning processes about gene mutations and classical genetic inheritance, representing an improvement in teaching practices in high school. The interest in scientific research using an animal model arose due to the need to use effective teaching processes in order to promote meaningful learning and the potential of such a model as an object of study to be investigated, from which many biological processes can be understood. Regarding the results, when observing the students' answers in the activities during the development of the didactic sequence, it was noted that more than 70% of the students got the correct answers to the proposed activities, thus, it was possible to see that there was understanding in relation to how the characteristics are transmitted over generations, that is, how the genetic mutations of chromosomes II and III of *D. melanogaster* segregate independently during the formation of gametes in the Parental Generation and produce phenotypic characteristics that combine in different ways in individuals of the F1 Generation compared to the phenotypic characteristics of the Parental Generation that gave rise to them. Investigative teaching has the potential to promote deepening scientific knowledge on various topics in biology and provide support for reflecting, discussing and replanning teaching practice in institutions intended for this purpose.

Keywords: Genetic mutations; Classical genetic inheritance; Arthropods; Learning.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 — Asas retas e paralelas ao comprimento do corpo em moscas tipo selvagem.....	30
Figura 2 — Mosca tipo selvagem, <i>scutellum</i> com quatro cerdas.....	31
Figura 3 — Mosca tipo selvagem, <i>scutum</i> com cerdas mais longas em comparação com as moscas portadoras da mutação MKRS.....	31
Figura 4 — Mosca tipo selvagem, região umeral com menos cerdas em comparação com as moscas portadoras da mutação TM6B.....	32
Figura 5 — Mosca portadora do genótipo Sco.....	32
Figura 6 — Cromossomo dois com mutação <i>CyO</i>	33
Figura 7 — Mosca portadora do genótipo <i>CyO</i>	33
Figura 8 — Cromossomo três com mutação MKRS.....	34
Figura 9 — Mosca portadoras da mutação MKRS, <i>scutum</i> com cerdas mais curtas em comparação com as cerdas das moscas selvagens.....	34
Figura 10 — Cromossomo três com mutação TM6B.....	35
Figura 11 — Mosca portadoras da mutação TM6B, região umeral com cerdas extras em comparação com o número de cerdas da região umeral das moscas selvagens.....	35
Figura 12 — A Mosca selvagem +/+.1mm, B. Mosca Sco/CYO; +/+. 1 mm e C. Mosca +/+; MKRS/TM6B. 2 mm.....	39
Figura 13 — A - Moscas +/+; MKRS/TM6B cultivadas. B - Moscas Sco/CYO; +/+ e +/+; MKR/TM6B cultivadas. C - Moscas Sco/CYO; +/+ cultivadas. D - Moscas Sco/CyO; +/+ e +/+; MKRS/TM6B cultivadas.....	39
Figura 14 — <i>Drosophila melanogaster</i> , mosca com fenótipo selvagem.....	46
Figura 15 — Estudante observando fenótipo de moscas <i>Drosophila melanogaster</i> durante a aula prática da aplicação da sequência didática.....	48
Figura 16 — Chave dicotômica para identificação de insetos.....	52
Figura 17 — A - Esquema de anatomia de uma formiga. B - Foto de uma borboleta monarca. C – Esquema de anatomia de um gafanhoto.....	53
Figura 18 — Esquema de moscas <i>Drosophila melanogaster</i> mostrando as diferenças fenotípicas entre macho e fêmea.....	54
Figura 19 — Dimorfismo sexual em <i>Drosophila melanogaster</i>	54

Figura 20 — <i>Scutoid</i> tipo selvagem com quarto cerdas e <i>Scutoid</i> com a mutação <i>Sco</i> sem cerdas	55
Figura 21 — <i>Drosophila melanogaster</i> mostrando as diferenças fenotípicas entre o tipo selvagem e o portador do fenótipo <i>CYO</i> que apresenta asas curvas em comparação ao tipo selvagem com asas retas.....	56
Figura 22 — <i>Drosophila melanogaster</i> mostrando as diferenças fenotípicas entre o tipo selvagem e o portador da mutação <i>MKRS</i> que apresenta cerdas mais curtas e mais grossas em comparação com o tipo selvagem.....	57
Figura 23 — <i>Drosophila melanogaster</i> mostrando as diferenças fenotípicas entre o tipo selvagem e o portador da mutação <i>TM6B</i> que apresenta cerdas extras no úmero em comparação com o tipo selvagem.....	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 — Ingredientes e quantidade para preparar meio de cultivo de <i>Drosophila</i>.	25
Tabela 2 — Antifúngicos.....	26
Tabela 3 — Estimativa de custo dos materiais necessários para o preparo de meio padrão de cultivo de <i>Drosophila</i> e análise.....	27

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 — Ações, detalhamento das aulas e abordagens investigativas desenvolvidas na sequência de ensino investigativo.....	23
Quadro 2 — Quadro apresentado por Punnett, modelo 1.....	36
Quadro 3 — Quadro apresentado por Punnett, modelo 2.....	36
Quadro 4 — Agrupamento 1. ♂ Sco/+; CyO/+ ♀	37
Quadro 5 — Agrupamento 1. ♂ MKRS/+;TM6B/+;.....	37
Quadro 6 — Agrupamento 2. ♂ MKRS/+;TM6B/+;.....	37
Quadro 7 — Agrupamento 2. TM6B/+; ♀MKRS/+	37
Quadro 8 — Agrupamento 3. . ♂ Sco/+; CYO/+;.....	37
Quadro 9 — Agrupamento 3. TM6B/+ MKRS/+♀;.....	38
Quadro 10 — Agrupamento 4. ♂ Sco/+; CYO/+	38
Quadro 11 — Agrupamento 4. TM6B/+; MKRS/+♀;.....	38
Quadro 12 — Classificação taxonômica da mosca das frutas e da espécie humana.....	53
Quadro 13 — Genótipo 2/4 ou 50% Sco/+ Genótipo 2/4 ou 50% CYO/+ Fenótipo 2/4 ou 50% Sco Fenótipo 2/4 ou 50% CYO.....	59
Quadro 14 — Genótipo Sco/+Sco 1//4 ou 25% letal Genótipo CYO/CYO ¼ ou 25% letal e fenótipo Genótipo Sco/CYO 2/2 ou 100% Fenótipo 100% Sco/CYO.....	59
Quadro 15 — Genótipo 2/4 ou 50% MKRS/+ Genótipo 2/4 ou 50% TM6B/+ Fenótipo 2/4 ou 50% MKRS Fenótipo 2/4 ou 50% TM6B	59
Quadro 16 — Genótipo 2/4 ou 50% MKRS/TM6B, Genótipo 1/4 ou 25% MKRS/MKRS (letal), Genótipo 1/4 ou 25% TM6B/TM6B (letal) e Fenótipo 2/2 ou 100% MKRS/TM6B.....	59

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CEP	Comitê de Ética em Pesquisa
ICBS	Instituto de Ciências Biológicas e da Saúde
LAVITOX	Laboratório de Análise <i>in vivo</i> da Toxicidade
UFAL	Universidade Federal de Alagoas
TCLE	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	OBJETIVOS	20
2.1	Geral	20
2.2	Específicos	20
3	HIPÓTESE	21
4	JUSTIFICATIVA	22
5	METODOLOGIA	23
5.1	Aulas práticas	23
5.2	Critérios de inclusão	25
5.3	Critérios de exclusão	25
5.4	Materiais	25
5.5	Tipo do estudo	27
5.6	Procedimentos	27
5.7	Benefícios da pesquisa investigativa	28
5.8	Amostragem e cálculo do tamanho da amostra	29
6	DSENVOLVIMENTO	30
6.1	Estabelecimento das linhagens com as características genóticas e fenotípicas trabalhadas na sequência didática	30
6.1.1	Moscas com fenótipo selvagem.....	30
6.1.2	Mosca portadora do genótipo <i>Sco</i>	32
6.1.3	Mosca portadora do genótipo <i>CyO</i>	33
6.1.4	Mosca portadora do genótipo MKRS	35
6.1.5	Mosca portadora do genótipo TM6B	35
7	REFERENCIAL TEÓRICO	40
7.1	Mosca-da-fruta é arma para desvendar os grandes mistérios da vida	40
7.1.1	Mutações Gênicas: Definição e Importância	42
8	RESULTADOS	46
8.1	Realização da sequência didática com os estudantes	46
9	DISCUSSÃO	61
10	CONSIDERAÇÕES FINAIS	66
	REFERÊNCIAS	67
	APÊNDICE A — Resposta padrão ao questionário da atividade para verificação dos conhecimentos prévios dos estudantes.....	70
	APÊNDICE B — PROPOSTA DE ROTEIRO DE AULA PARA O PROFESSOR (SEQUÊNCIA DIDÁTICA), ADAPTADA PARA SER REALIZADA EM QUATRO AULAS TEMA: ENSINO DE MUTAÇÕES GÊNICAS E HERANÇA DE GENÉTICA CLÁSSICA A PARTIR DE ATIVIDADES INVESTIGATIVAS BASEADAS EM UM MODELO ANIMAL: <i>Drosophila melanogaster</i>	72

APÊNDICE C — PROPOSTA DE ROTEIRO DE AULA PARA O ALUNO (SEQUÊNCIA DIDÁTICA), ADAPTADA PARA SER REALIZADA EM QUATRO AULAS TEMA: ENSINO DE MUTAÇÕES GÊNICAS E HERANÇA DE GENÉTICA CLÁSSICA A PARTIR DE ATIVIDADES INVESTIGATIVAS BASEADAS EM UM MODELO ANIMAL: <i>Drosophila melanogaster</i>	80
APÊNDICE D — ROTEIRO DE AULA PARA O PROFESSOR (SEQUÊNCIA DIDÁTICA) TEMA: ENSINO DE MUTAÇÕES GÊNICAS E HERANÇA DE GENÉTICA CLÁSSICA A PARTIR DE ATIVIDADES INVESTIGATIVAS BASEADAS EM UM MODELO ANIMAL: <i>Drosophila melanogaster</i>	88
APÊNDICE E — SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ALUNO TEMA: ENSINO DE MUTAÇÕES GÊNICAS E HERANÇA DE GENÉTICA CLÁSSICA A PARTIR DE ATIVIDADES INVESTIGATIVAS BASEADAS EM UM MODELO ANIMAL: <i>Drosophila melanogaster</i>	107
APÊNDICE F — TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO – TCLE PARA MAIORES DE 18 ANOS.....	124
APÊNDICE G — TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO – TCLE PARA O RESPONSÁVEL.....	127
APÊNDICE H — TERMO DE ASSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDOPARA MENORES DE 18 ANOS DE IDADE	130
APÊNDICE I — DECLARAÇÃO DE CUMPRIMENTO DAS NORMAS DA RESOLUÇÃO N° 466/12 E 510/16 DE PUBLICIZAÇÃO DOS RESULTADOS E SOBRE O USO E DESTINAÇÃO DO MATERIAL/DADS COLETADOS.....	133
ANEXO A - Folha de aprovação do comitê de ética.....	134

1 INTRODUÇÃO

No decorrer da história da educação brasileira, a ciência foi organizada de acordo com uma ideologia acadêmica e internacional que deter minaram a metodologia científica, além disso, esse modelo de produção da ciência sofreu com instabilidades na política e com medidas autoritárias Nascimento *et al.*, 2010. De acordo com o autor, durante muito tempo, a educação brasileira foi organizada com base na ideologia de que a produção científica deveria ser restrita ao ambiente acadêmico. Embora de fato, sejam principalmente os centros acadêmicos que realizam pesquisa científica e produzem ciência, o predomínio dessa ideologia dificultou o desenvolvimento de metodologias de ensino voltadas para a educação básica que favorecessem a compreensão de como a ciência é produzida Ribeiro, Mota, Leite, 2010.

O ensino de ciências passou a fazer parte dos currículos escolares do Brasil de forma oficial ao longo do século XX, porém nos moldes tradicionais Bueno *et al.*, 2012. Esse modelo de ensino foi consolidado no Brasil nas décadas de 1960 e 1970 Nardi, 20140 e houve um aumento no quantitativo da carga horária no Ensino Médio Krasilchik, 2000.

Durante a década de 90 do século passado, evidenciou-se a importância da associação entre ciência e a esfera social, possibilitando a percepção de uma realidade mais complexa e incerta em relação a construção de conhecimentos científicos deixando explícita a ausência de articulação entre o fazer científico vigente na época e as carências da maior parcela dos brasileiros Nascimento *et al.* 2010.

O método de ensino de biologia nas instituições escolares foi durante muito tempo caracterizado por apresentar grandes quantidades de terminologias e descrições extensas de processos e estruturas biológicas. Embora tais descrições de processos e estruturas fossem importantes para o entendimento de inúmeros fenômenos e fizessem parte da terminologia da área da biologia, tais descrições fizeram com que o ensino de biologia fosse associado a memorização de nomenclaturas, ciclos e processos, e causaram a impressão de que a biologia era uma área de conhecimento estagnada e que seus conhecimentos já estavam prontos e finalizados Motokane, 2015. Há dificuldades relacionadas ao ensino de biologia e as aulas formais, muitas vezes, envolvendo diversos conceitos, tornam-se desestimulantes e conseqüentemente a aprendizagem acaba sendo insatisfatória Motokane, 2015.

De acordo com Bastos 2013, 54% dos docentes afirmam que o ensino de classificação dos seres vivos constitui um dos maiores desafios e 34% deles consideram

que a maior dificuldade de aprendizagem dos discentes está relacionada a nomenclatura da biologia. Contudo, 24% dos docentes reconhecem que possuem dificuldades em relação ao ensino de Zoologia, isso evidencia que se somam a complexidade do conteúdo as deficiências relacionadas a formação acadêmica/didática docente, as quais repercutem na aprendizagem dos estudantes.

Os conteúdos de Biologia, em geral, seguem uma abordagem essencialista e estagnada sem levar em consideração a história evolutiva das diferentes espécies Rodrigues, Justina, Meglhioratti, 2011; Oliveira, 2015.

A sistemática filogenética propicia o estabelecimento de relações entre a biodiversidade e a evolução, articulando as relações entre os seres vivos com base em seu grau de parentesco considerando os diversos níveis. Nessa perspectiva, os estudantes se sentem instigados a compreender os mecanismos biológicos que originam a diversidade de espécies, tais como as mutações Santos, Calor, 2007; Lopes, Vasconcelos, 2012.

A principal finalidade das árvores filogenéticas é propiciar a visualização do parentesco evolutivo entre os diversos grupos de seres vivos Souza, Rocha, 2015 e, ainda, constituem ótimos recursos para estimular a dedução de fenômenos biológicos como mutações, recombinações genéticas e hipóteses evolutivas Ribeiro, Arcanjo, 2018.

Mediante a constatação das dificuldades relacionadas ao ensino de como mutações gênicas e herança de genética clássica produzem características fenotípicas, conforme evidenciado na literatura científica, surgiu o interesse em desenvolver atividades investigativas utilizando como modelo experimental a mosca das frutas *Drosophila melanogaster* para o estudo da herança de suas características durante as fases do desenvolvimento em seu ciclo de vida. Ao desenvolver as atividades propostas na sequência didática, melhora o ensino do assunto.

A história da Biologia evidencia que os modelos biológicos são importantes para a realização de experiências que viabilizem o teste de hipóteses. A *Drosophila* constitui um gênero de insetos historicamente utilizado como modelo em genética a partir do início do século passado. Por meio das pesquisas desenvolvidas com elas, foi estabelecida a teoria da herança cromossômica e foram desenvolvidos os primeiros mapas relacionados a caracteres fenotípicos de genes localizados nos cromossomos. Mesmo tendo sido utilizadas como importantes recursos em pesquisas científicas, atualmente as drosófilas praticamente não são utilizadas em sala de aula como recurso para ensino no Brasil, Matias *et al.* 2015.

O início da utilização das drosófilas como organismo modelo para compreender os mecanismos pelos quais as características eram transmitidas, bem como determinar as

relações entre o genótipo e o fenótipo, começou em 1910 com a publicação na revista *Science*, das conclusões de pesquisas envolvendo cruzamento de *Drosophila melanogaster* por Thomas Hunt Morgan. A partir daquele momento, a drosófila se tornaria um dos organismos modelo mais bem estudado e mais versátil da pesquisa em genética por causa da facilidade de manuseio e do baixo custo de manutenção em laboratório. O ciclo de vida curto, com uma nova geração de moscas nascendo a cada dez dias, a produção numerosa de descendentes, visto que apenas uma fêmea tem potencial para originar centenas de descendentes, a complexidade em suas características fenotípicas morfológicas, anatômicas e metabólicas constituem características importantes para adoção desse organismo modelo para o ensino Sepel, Loreto, 2010.

Em função dessa gama de características, facilidade de manutenção, baixo custo relativo e facilidade no manuseio desses animais e considerando ainda, a escassez de recursos financeiros e didáticos principalmente nas instituições públicas de ensino básico do Brasil, esses insetos constituem um excelente modelo animal com potencial para contribuir com a dinamização das aulas e principalmente viabilizar estudos investigativos que possam facilitar a compreensão de mutações gênicas e herança de genética clássica entre diferentes grupos de animais, como os insetos, estudados em Zoologia. A observação do ciclo de vida e das características desse grupo de animais constituirá um recurso estimulante para os estudantes e lhes possibilitará embasamento para formulação de hipóteses sobre como os fenótipos surgem e são transmitidos a descendência, Vasconcelos, 2022.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Realizar estudos baseados em investigação científica utilizando o organismo modelo *Drosophila melanogaster*, visando uma aprendizagem significativa sobre como mutações gênicas e herança de genética clássica produzem características fenotípicas, bem como produzir uma sequência didática como produto educacional.

2.2 Específicos

Realizar cruzamentos entre animais contendo mutações e balanceadores cromossômicos de *Drosophila melanogaster* visando demonstrar o efeito de mutações letais sobre a progênie.

Descrever as características fenotípicas resultantes dos cruzamentos realizados com *Drosophila melanogaster*;

Realizar cruzamentos entre *Drosophila melanogaster* tipo selvagem (WT) x *Drosophila melanogaster* com a mutação *Scutoid* (*Sco*); *Drosophila melanogaster* tipo selvagem (WT) x *Drosophila melanogaster* com asas curvas (*CyO*) e avaliar a progênie com os estudantes;

Realizar cruzamentos entre *Drosophila melanogaster* tipo selvagem (WT) x *Drosophila melanogaster* com a mutação (MKRS); *Drosophila melanogaster* tipo selvagem (WT) x *Drosophila melanogaster* com a mutação (TM6B) e avaliar a progênie com os estudantes;

Analisar os resultados dos cruzamentos utilizando o modelo animal, bem como os impactos no processo de ensino/aprendizagem, planejamento, integração e motivação dos estudantes.

Produzir uma sequência didática como produto educacional.

3 HIPÓTESE

A utilização da investigação científica utilizando o modelo animal *Drosophila melanogaster* possibilitará construir processos dinâmicos e significativos de ensino e aprendizagem sobre mutações gênicas e herança de genética clássica, representando aprimoramento das práticas de ensino/aprendizagem no ensino médio.

4 JUSTIFICATIVA

O ensino por investigação em ciências baseia-se na utilização de princípios construtivistas que tenham por finalidade promover a alfabetização científica envolvendo os estudantes de forma ativa, interativa e colaborativa em seu próprio processo de aprendizagem, mediante a formulação de questões e problemas, cuja investigação seja requisito para solucioná-los, coletando, analisando e interpretando dados que possibilitem a formulação e comunicação de conclusões respaldadas em evidências e reflexão em relação a todo processo de investigação Scarpa, Campos, 2018.

O ensino investigativo baseado em um modelo animal irá promover o aprofundamento no conhecimento científico sobre mutações gênicas e herança de genética clássica e, fornecerá subsídios para refletir, discutir e replanejar a prática de ensino nas instituições que se destinam a essa finalidade.

5 METODOLOGIA

5.1 Aulas práticas

As moscas da espécie *Drosophila melanogaster* utilizadas para cultivo e empregadas em sala de aula foram obtidas a partir do Laboratório de Análise *in vivo* da Toxicidade (LAVITOX), localizado no Instituto de Ciências Biológicas e da Saúde (ICBS) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL). A observação do ciclo de vida desses insetos e de suas características morfológicas foram objeto de estudo nas aulas práticas para o ensino de mutações gênicas e herança de genética clássica.

Em relação à herança genética clássica, foram propostos dois momentos: I) os estudantes pesquisaram em sites especializados e livros textos, o tipo de herança genética relacionada a uma característica morfológica, por exemplo, asas curvas e a mutação *CyO*. II) montar um heredograma a partir da observação da característica na geração parental e descendência.

Os dados foram coletados mediante o preenchimento dos questionários contidos nos roteiros de atividades que seriam desenvolvidos pelos alunos. Tais dados, foram organizados em planilha no Microsoft Excel 2010, analisados por meio de estatística descritiva quantitativa e qualitativa, e foram apresentadas como média e desvio padrão.

Quadro 1 — Ações, detalhamento das aulas e abordagens investigativas desenvolvidas na sequência de ensino investigativo

Ações e detalhamento das aulas	Abordagem investigativa
1ª aula. Montagem do cultivo das moscas <i>D. melanogaster</i> . Geração parental: Geração F1 $\text{♀/♂ Sco/CyO} \times \text{+/+ ♀/♂ Sco/CyO} \times \text{Sco/CyO}$ $\text{♀/♂ +/+} \times \text{MKRS/TM6B} \text{ ♀/♂ MKRS/TM6B} \times \text{MKRS/TM6B}$	Adquirir noções básicas de laboratório e de experimento. Cruzamento realizado em laboratório e acompanhamento do mesmo.
2ª aula. Aplicação de questionário para verificação do conhecimento prévio sobre herança genética.	Observação, discussão e compreensão do padrão de herança obtido na descendência
3ª aula. Foi disponibilizado para os alunos, um texto sobre a história das <i>D. melanogaster</i> .	Perceber o padrão de desenvolvimento indireto que ocorre nos insetos e comparar com o padrão de desenvolvimento direto de outros grupos animais,

Ações e detalhamento das aulas	Abordagem investigativa
Mosca-da-fruta é arma para desvendar os grandes mistérios da vida	ex. répteis e mamíferos. O referido texto, teve por finalidade, despertar a curiosidade dos alunos sobre como os estudos desenvolvidos com as moscas das frutas tem contribuído para o desenvolvimento do conhecimento científico, especialmente a genética.
4ª aula O conteúdo dessa aula abordou o conceito de mutações genéticas. Mutações Gênicas: Definição e Importância	Nessa aula, os alunos realizaram leitura do texto sobre mutações genéticas, a fim de que pudessem compreender o conceito de mutações genéticas. Após a leitura do texto, foram esclarecidas as dúvidas sobre as informações contidas no mesmo.
5ª aula foram trabalhadas as características fenotípicas da classe <i>Insecta</i> . Como saber se é um inseto?	Os estudantes realizaram leitura do texto sobre os insetos, observaram as imagens e responderam ao questionário acerca das características fenotípicas que caracterizam a classe <i>insecta</i> e a diferencia das demais classes que aloca os demais animais.
6ª aula: Cruzamento realizado em laboratório previamente e acompanhamento do mesmo. Observação de características morfológicas das moscas com auxílio de lupa e uso de estereomicroscópio tais como: Geração parental CyO, Sco Geração F1 ♀/♂ +/+ x Sco/CyO ♀/♂ Sco/CyO x Sco/CyO	Observação, discussão e compreensão do padrão de herança obtido na descendência. Relacionar os diversos padrões de características a mutações genéticas. Associar características físicas e sua funcionalidade.
7ª aula. Cruzamento realizado em laboratório previamente e acompanhamento do mesmo. Observação de características morfológicas das moscas com auxílio de lupa e uso de estereomicroscópio tais como Geração parental MKRS e TM6B. Geração F1 ♀/♂ +/+ x MKRS/TM6B ♀/♂ MKRS/TM6B x MKRS/TM6B	Observação, discussão e compreensão do padrão de herança obtido na descendência. Relacionar os diversos padrões de características a mutações genéticas. Associar características físicas e sua funcionalidade.

Fonte: O autor (2024).

5.2 Critérios de inclusão

Estudantes de uma turma do 3º ano do ensino Médio (40 estudantes); Concordância com os termos da pesquisa que foram: Termo de consentimento livre e esclarecido – TCLE para maiores de 18 anos, o Termo de consentimento livre e esclarecido – TCLE para o responsável e o Termo de assentimento livre e esclarecido para menores de 18 anos de idade.

5.3 Critérios de exclusão

1. Questionários não devidamente preenchidos.
2. Estudantes que desistam ou se recusem a participar da realização das atividades durante as aulas.
3. Estudantes transferidos durante a aplicação do projeto.

5.4 Materiais

As tabelas 1 mostra os ingredientes e a quantidade para preparo do meio de cultivo de *Drosophila*.

Tabela 1 — Ingredientes e quantidade para preparar meio de cultivo de *Drosophila*

Ingredientes/quantidade	3 L	2 L	1 L	500 mL	100 mL	1,5 L
Ágar (g)	18	13	5	2,5	0,5	7,5 g
Dextrose (D – Glicose) (g)	157,5	105	52,5	26,25	5,25	78,75 g
Sacarose (g)	78,6	52,4	26,2	13,1	2,62	39,3 g
Fubá de Milho (g)	272,78	181,8	90,9	45,45	9,09	136,35 g
Levedo de Cerveja (g)	47,78	31,8	15,9	7,95	1,59	23,25 g
Água destilada (mL)	2.425	1.7261	863	431,5	86,3	1294,5mL

Fonte: Laboratório de Análise in vivo da Toxicidade (LAVITOX), do Instituto de Ciências Biológicas e da Saúde (ICBS).

Procedimento

1. Ligar a balança 30 minutos antes. Colocar o béquer e apertar o botão tara. Colocar o ingrediente aos poucos até atingir a quantidade desejada. Repetir para cada ingrediente individualmente.
2. Na panela, acrescentar a quantidade de água destilada de acordo com a quantidade de meio a ser preparada (ver tabela 1). Colocar a panela sobre o fogareiro

elétrico ligado. Acrescentar os ingredientes aos poucos, mexendo bem até todos estarem incorporados. Mexer de cinco em cinco minutos para evitar que queime.

3. Quando a mistura levantar fervura ou começar a incorporar, desligar o fogo e transferir o meio para os erlenmeyers. Encher apenas metade de cada erlenmeyer para evitar esborrar na autoclave.
4. Fechar os erlenmeyer com algodão envolvido em gaze. Colocar o wrap para esterilização sobre o algodão e prender bem com elástico.
5. Levar para autoclave por 25 minutos.
6. Após o processo de autoclave, esperar o meio atingir menos de 60°C e inserir a quantidade de Nipagin (antifúngico) e ácidos correspondentes a quantidade de meios preparados (ver Tabela 2).

PREPARO DAS SOLUÇÕES ESTOQUE

Nipagin 10%

1. 10 g de Nipagin
2. 100 mL de álcool 92% qsp

Após dissolver totalmente o Nipagin em álcool, acrescentar 200 µL de ácido fosfórico e agitar por 3 minutos. Armazenar a 4°C.

Preparo da solução de ácidos com a finalidade antifúngica

1. 418 mL de ácido propiônico - 209 mL
2. 41,5 mL de ácido fosfórico – 20,75 mL 29,75
3. 1.000 mL de água destilada – 500 mL

As tabelas 2 mostra os antifúngicos que devem ser adicionados no meio de cultivo de *Drosophila*, a fim de evitar a proliferação de fungos.

Tabela 2 — Antifúngicos

Antifúngicos/quantidade	3 L	2 L	1 L	500 mL	100 mL	1,5 L
Nipagin 10% (mL)	17,25	11,5	5,75	2,90	0,575	8,65 ml
Mistura de ácido propiônico e ácido fosfórico) (mL)	15	10	5	2,5	0,5	7,5ml

Fonte: Laboratório de Análise in vivo da Toxicidade (LAVITOX), do Instituto de Ciências Biológicas e da Saúde (ICBS).

Armazenar em temperatura ambiente

Importante: realizar esse procedimento na capela e sempre colocar primeiro a água e depois os ácidos.

Uma estimativa de custo dos materiais necessários para o preparo de meio padrão de cultivo de *Drosophila* é análise apresentada na tabela 3. A tabela abaixo tem por finalidade fornecer um valor aproximado dos materiais necessários para realização da aula prática. Os referidos valores estão sujeitos à alteração conforme o reajuste conforme os reajustes dos produtos no comércio. Lista de materiais, custo e ingredientes para o preparo de meios de cultivo e análise de *Drosophila*.

Tabela 3 — Estimativa de custo dos materiais necessários para o preparo de meio padrão de cultivo de *Drosophila* e análise

01.	Béquer (5 unidades/1 por ingredientes) - R\$ 80,00
02.	Colher de pesagem (5unidades/ 1 por ingrediente) - R\$ 30,00
03.	Panela inox - R\$ 600,00
04.	Fogareiro elétrico - R\$ 135,00
05.	Colher de pau - R\$ 20,00
06.	Proveta (1.000 e 20 mL) - R\$ 150,00
07.	Lupa - R\$ 21,00
08.	Erlenmeyer - R\$ 100,00
09.	Algodão - R\$ 80,00
10.	Elástico - R\$ 30,00
11.	Wrap para esterilização - R\$ 80,00
12.	Gaze - R\$ 30,00
13.	Estereomicroscópio - R\$ 30,00

Fonte: Laboratório de Análise in vivo da Toxicidade (LAVITOX), do Instituto de Ciências Biológicas e da Saúde (ICBS).

5.5 Tipo do estudo

Trata-se de estudo descritivo, quantitativo e qualitativo.

5.6 Procedimentos

Foi encaminhada uma cópia deste projeto e uma carta ao responsável pela instituição a fim de fazê-lo ciente dos objetivos, importância, e as possíveis repercussões advindas da pesquisa, bem como solicitando autorização para realização da pesquisa. Depois da aprovação do gestor, o projeto foi submetido ao Comitê de Ética em Pesquisa (CEP), por meio da Plataforma Brasil.

A pesquisa só foi iniciada após a aprovação do CEP e as informações obtidas foram utilizadas exclusivamente para fins científicos, sendo, os participantes da pesquisa, respeitados em sua dignidade, autonomia e vulnerabilidade e conscientizados de que participaram da pesquisa por intermédio de um termo de esclarecimento e manifestação expressa, livre e esclarecida de sua participação na pesquisa.

Os sujeitos da pesquisa participaram de aulas investigativas que tiveram por finalidade contribuir com a sua aprendizagem, instigando-lhes a curiosidade e dinamicidade em relação aos objetos de estudos que compõem o currículo escolar de biologia da secretaria estadual de educação de Pernambuco, previsto para o ano letivo corrente. O pesquisador esteve em toda a fase para esclarecer eventuais dúvidas em caso de necessidade do participante para tal.

Inicialmente as atividades investigativas foram desenvolvidas com estudantes de uma turma do 3º ano do ensino médio que concordarem com os termos da pesquisa. A coleta de dados foi realizada por meio de questionários, observação da participação dos estudantes durante a realização das atividades e análise da qualidade das mesmas Segundo Minzini, 2004.

5.7 Benefícios da pesquisa investigativa

Aulas com atividades investigativas terão por finalidade contribuir com a aprendizagem dos estudantes, instigando-lhes a curiosidade e dinamicidade em relação aos objetos de estudos. Ao participarem das atividades investigativas, os sujeitos da pesquisa são beneficiados pelo que se propõe o ensino investigativo, que é a promoção da aprendizagem dos objetos de conhecimento em biologia, mediante a reflexão provocada pelas próprias situações de investigação propostas visando o processo de ensino e aprendizagem. Ao finalizar a pesquisa, tem-se como meta a publicação de artigos científicos sobre os benefícios das atividades de ensino investigativo, bem como, a importância da utilização das mesmas em sala de aula para obter resultados satisfatórios.

A divulgação dos resultados, em mídias e em eventos científicos será garantido o anonimato de todos participantes da pesquisa a fim de evitar quaisquer tipos de exposição e/ou constrangimento, prejuízo moral e baixa autoestima decorrentes de divulgação indevida de sua identidade ou imagem. A divulgação visa atingir a comunidade científica, a sociedade e, principalmente, as instituições de ensino que possam aprimorar as suas

políticas educativas mediante a aplicação de uma sequência didática produzida como produto educacional ao término da pesquisa.

Uma sequência didática é caracterizada pela descrição de um conjunto de atividades definidas, ordenadas, estruturadas e articuladas em um método, a fim de atingir os objetivos previamente definidos a cerca de um conteúdo que será trabalhado em sala de aula, além disso, apresenta ainda, os materiais que serão utilizados durante a execução e a avaliação que será utilizada para verificação da aprendizagem Zabala 1998.

5.8 Amostragem e cálculo do tamanho da amostra

A amostra foi composta por estudantes de uma turma de 3º ano do ensino médio, respeitando os critérios de inclusão e exclusão. Não há determinação do número amostral devido o fluxo sazonal (no mínimo 30 estudantes). O referido estudo restringe sua execução pautada na análise das variáveis eleitas e critérios descritos anteriormente, e em um universo que compreende as atividades de ensino investigativas propostas e desenvolvidas.

6 DSENVOLVIMENTO

A seguir, estão detalhadas as moscas e os fenótipos utilizados, bem como, os procedimentos para estabelecimento das linhagens de moscas utilizadas nas aulas práticas e como as aulas práticas foram realizadas com os estudantes para execução da sequência didática.

6.1 Estabelecimento das linhagens com as características genóticas e fenóticas trabalhadas na sequência didática

As moscas e os respectivos fenótipos utilizados nas aulas foram as seguintes:

6.1.1 Moscas com fenótipo selvagem

As moscas *Drosophila melanogaster* de genótipo (+/+) e fenótipo selvagem apresentam asas retas paralelas ao corpo, Figura 1.

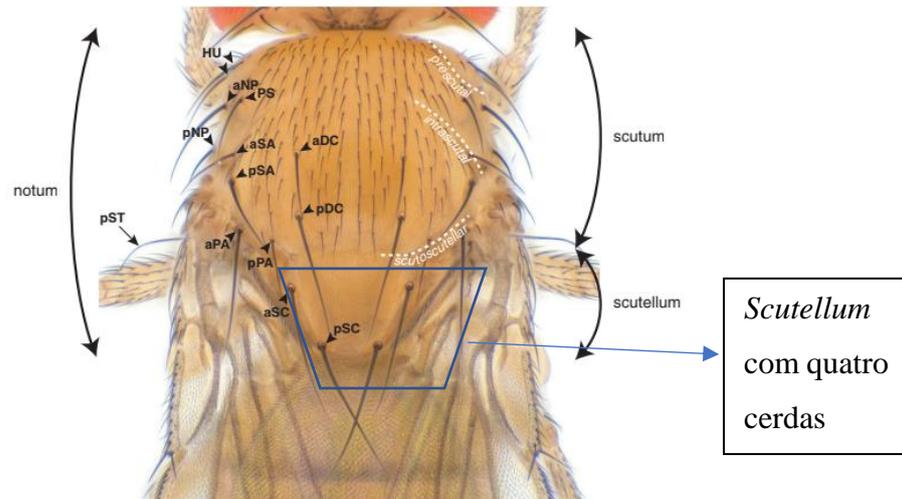
Figura 1 — Asas retas e paralelas ao comprimento do corpo em moscas tipo selvagem



Fonte: Imagens do Atlas of *Drosophila* Morphology.

Moscas *Drosophila melanogaster* de genótipo (+/+) e fenótipo selvagem apresentam região *Scutellum* com quatro cerdas, Figura 2.

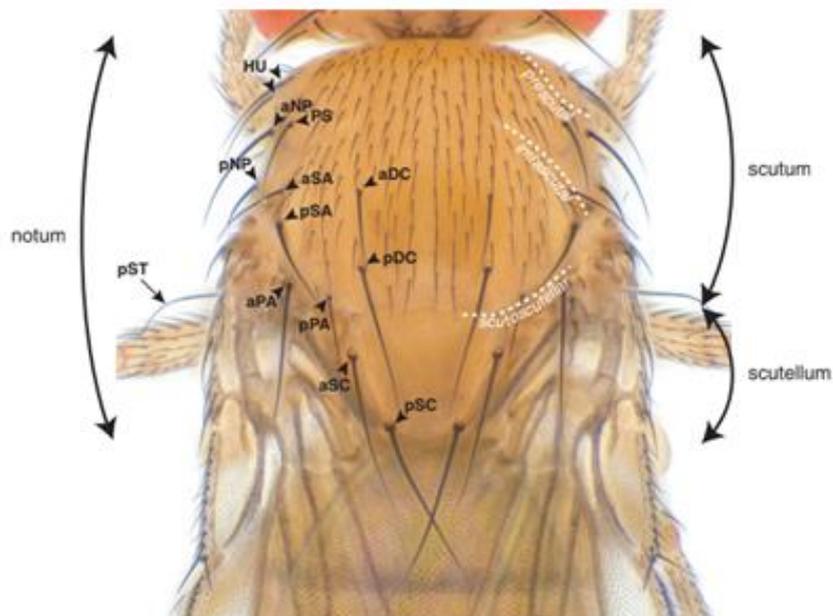
Figura 2 — Mosca tipo selvagem, *scutellum* com quatro cerdas



Fonte: Imagens do Atlas of *Drosophila* Morphology.

As moscas *Drosophila melanogaster* de genótipo (+/+) e fenótipo selvagem apresentam região dorsal com cerdas mais longas em comparação com as moscas portadoras da mutação MKRS, Figura 3.

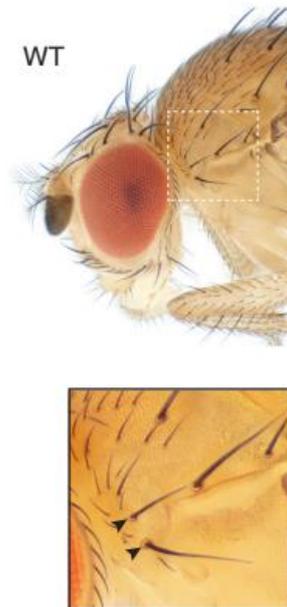
Figura 3 — Mosca tipo selvagem, *scutum* com cerdas mais longas em comparação com as moscas portadoras da mutação MKRS.



Fonte: Imagens do Atlas of *Drosophila* Morphology.

Moscas *Drosophila melanogaster* de genótipo (+/+) e fenótipo selvagem apresentam menos cerdas na região umeral em comparação com as moscas portadoras da mutação TM6B, Figura 4.

Figura 4 — Mosca tipo selvagem, região umeral com menos cerdas em comparação com as moscas portadoras da mutação TM6B.



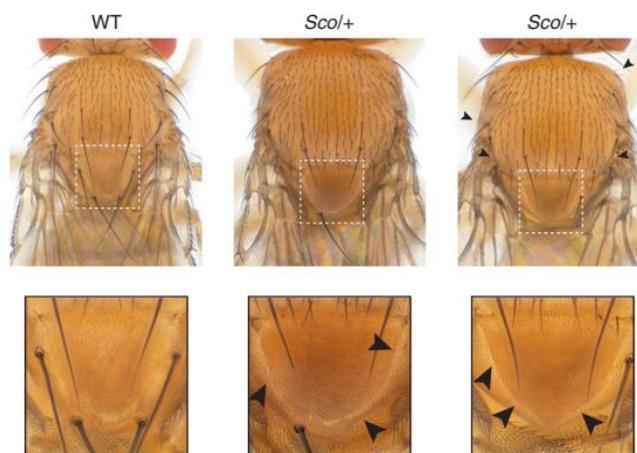
Fonte: Imagens do Atlas of *Drosophila* Morphology.

As moscas tipo selvagem com os fenótipos descritos acima, foram a linhagem de referência cruzada com moscas portadoras dos genótipos *Sco*/CyO; +/+ e +/+; MKRS/TM6B.

6.1.2 Mosca portadora do genótipo *Sco*

A mutação *Sco* ocorre no cromossomo dois e é responsável por produzir um fenótipo caracterizado pela presença de uma, duas ou três cerdas na região do *scutellum*, nunca a presença de quatro cerdas característica exclusiva do tipo selvagem, figura 5.

Figura 5 — Mosca portadora do genótipo *Sco*

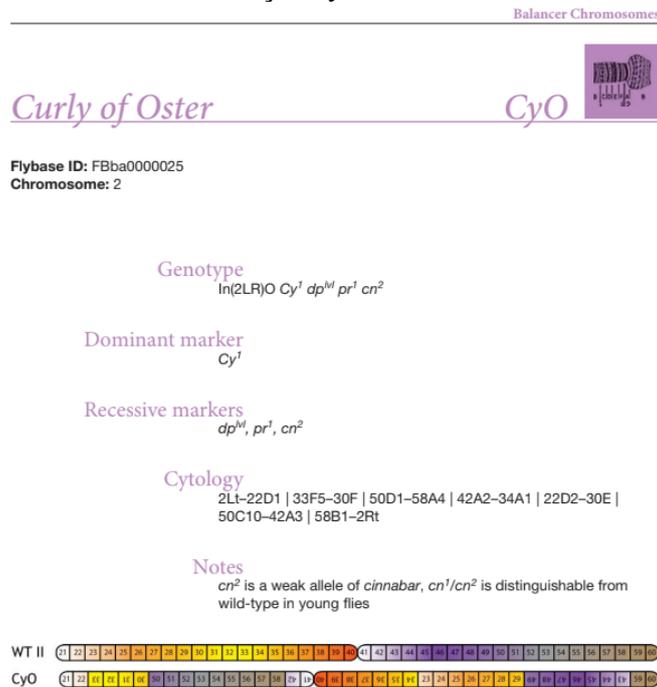


Fonte: Imagens do Atlas of *Drosophila* Morphology.

6.1.3 Mosca portadora do genótipo *CyO*

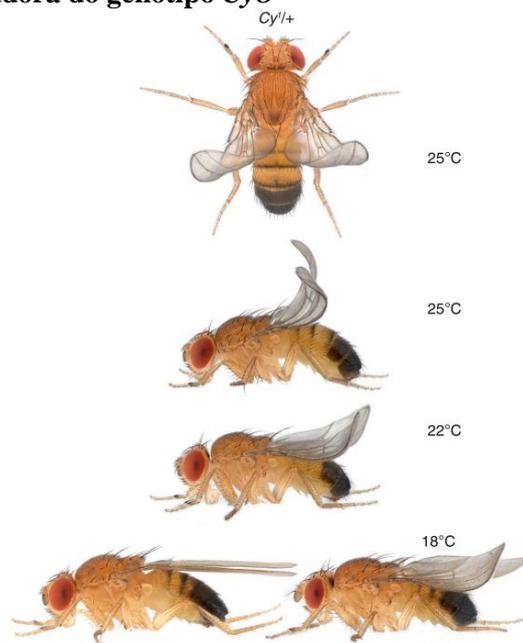
A mutação *CyO* ocorre no cromossomo dois, Figura 6 e é responsável por produzir um fenótipo caracterizado pela presença de asas curvadas para cima, Figura 7.

Figura 6 — Cromossomo dois com mutação *CyO*



Fonte: Imagens do Atlas of *Drosophila* Morphology.

Figura 7 — Mosca portadora do genótipo *CyO*

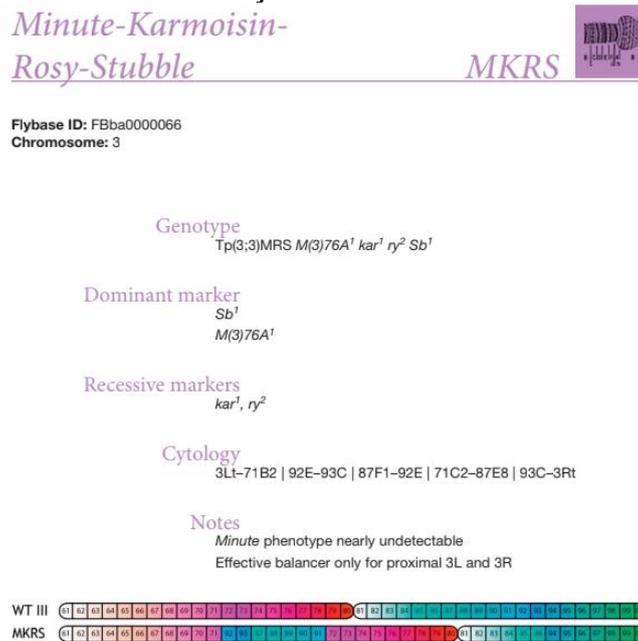


Fonte: Imagens do Atlas of *Drosophila* Morphology.

6.1.4 Mosca portadora do genótipo MKRS

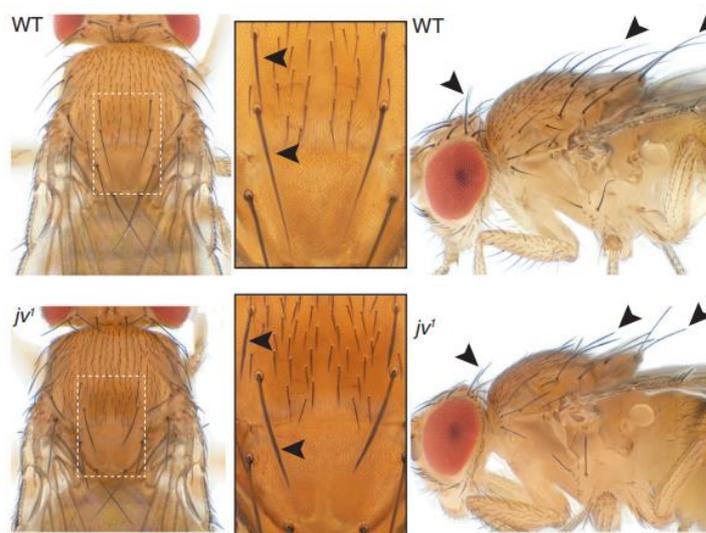
A mutação MKRS ocorre no cromossomo três, Figura 8 e é responsável por produzir um fenótipo caracterizado pela presença de cerdas mais curtas na região *scutum* em comparação com as cerdas das moscas selvagens, Figura 9.

Figura 8 — Cromossomo três com mutação MKRS



Fonte: Imagens do Atlas of *Drosophila* Morphology.

Figura 9 — Mosca portadoras da mutação MKRS, *scutum* com cerdas mais curtas em comparação com as cerdas das moscas selvagens.

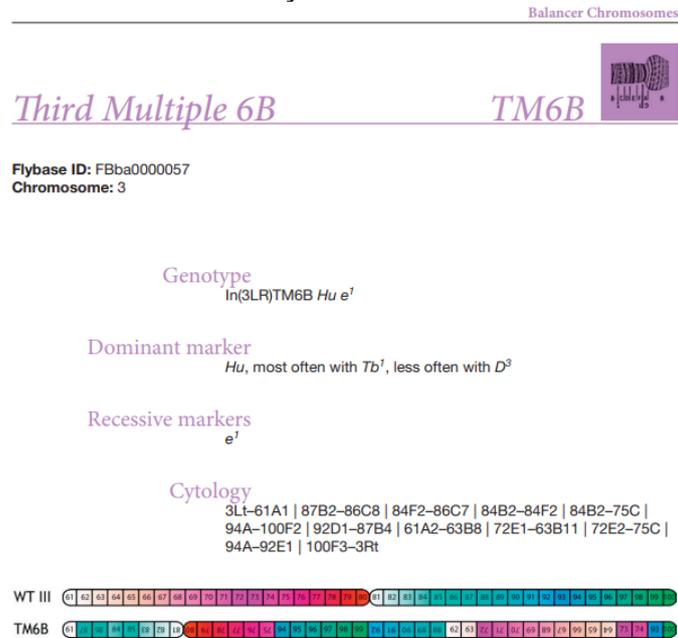


Fonte: Imagens do Atlas of *Drosophila* Morphology.

6.1.5 Mosca portadora do genótipo TM6B

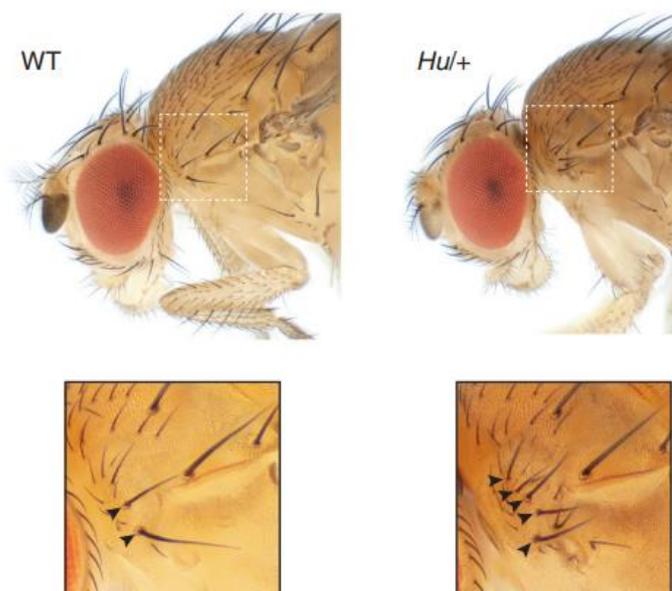
A mutação TM6B ocorre no cromossomo três, Figura 10 e é responsável por produzir um fenótipo caracterizado pela presença de cerdas extras na região umeral em comparação com as cerdas das moscas selvagens, Figura 11.

Figura 10 — Cromossomo três com mutação *TM6B*



Fonte: Imagens do Atlas of *Drosophila* Morphology.

Figura 11 — Mosca portadoras da mutação *TM6B*, região umeral com cerdas extras em comparação com o número de cerdas da região umeral das moscas selvagens.



Fonte: Imagens do Atlas of *Drosophila* Morphology.

Foi feita a análise no estereomicroscópio das moscas com as características selecionadas para realização dos cruzamentos e estabelecimento das linhagens com as características genóticas e fenotípicas a serem trabalhadas na sequência didática.

As moscas, descritas acima, correspondem a uma linhagem conhecida, mantida no Laboratório de Análise *in vivo* da Toxicidade (LAVITOX) e foram utilizadas no cruzamento que constituiu a Geração Parental. O objetivo desse cruzamento da Geração Parental foi produzir a Geração F1 constituída por moscas com genótipos Sco/+; CYO/+; MKRS/+ e TM6B/+. As mutações Sco e CyO ocorrem no cromossomo dois, já as mutações MKRS e M6B ocorrem no cromossomo três das *D. melanogaster*. Essas quatro mutações mencionadas são dominantes e quando ocorrem em dose dupla acarretam a morte das moscas portadoras. O objetivo foi atingido. Após cerca de 12 dias, foi feita a coleta, análise no estereomicroscópio dos indivíduos da Geração F1 originados a partir da Geração Parental. Os resultados obtidos, conforme mostra o quadro de Punnett 2 e 3, foram os seguintes:

Quadro 2 — Quadro apresentado por Punnett, modelo 1.

♂/♀	Sco	CYO
+	Sco/+	CYO/+
+	Sco/+	CYO/+

Fonte: O autor (2024).

Quadro 3 — Quadro apresentado por Punnett, modelo 2.

♂/♀	MKRS	TM6B
+	MKRS/+	TM6B/+
+	MKRS/+	TM6B/+

Fonte: O autor (2024).

A partir dos resultados obtidos na geração F1, foi feita a identificação e separação de fêmeas virgens e de machos e, foram feitos quatro agrupamentos em vials para a realização dos cruzamentos que originaram a geração F2.

Agrupamentos em vials

1. ♂ CYO/+; MKRS/+ X Sco/+; TM6B/+ ♀
2. ♂ Sco/+; MKRS/+ X CYO/+; TM6B/+ ♀.
3. ♂ Sco/+; TM6B/+ X CYO/+; MKRS/+ ♀
4. ♂ CYO/+; TM6B/+ X Sco/+; MKRS/+ ♀.

O objetivo desse segundo cruzamento, a partir desses quatro agrupamentos, era obter as moscas com as combinações de mutações Sco/CYO; +/+ e +/-; MKRS/TM6B, o objetivo foi atingido, conforme demonstram os quadros 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 e 11.

Quadro 4 — Agrupamento 1. ♂ Sco/+; CyO/+ ♀

♂ /♀	Sco	+
CyO	Sco/CyO	CyO/+
+	Sco/+	+/+

Fonte: O autor (2024).

Quadro 5 — Agrupamento 1. ♂ MKRS/+; TM6B/+;

♂ /♀	TM6B	+
MKRS	MKRS/TM6B	MKRS/+
+	TM6B/+	+/+

Fonte: O autor (2024).

Quadro 6 — Agrupamento 2. ♂ CYO/+; Sco/+;

♂ /♀	Sco	+
CYO	Sco/CYO	CYO/+
+	Sco/+	+/+

Fonte: O autor (2024).

Quadro 7 — Agrupamento 2. TM6B/+; ♀MKRS/+

♂ /♀	MKRS	+
TM6B	MKRS/TM6B	TM6B/+
+	MKRS/+	+/+

Fonte: O autor (2024).

Quadro 8 — Agrupamento 3. ♂ Sco/+; CYO/+;

♂ /♀	Sco	+
CYO	Sco/CYO	CYO/+
+	Sco/+	+/+

Fonte: O autor (2024).

Quadro 9 — Agrupamento 3. ♂ TM6B/+ MKRS/+♀;

♂ /♀	TM6B	+
MKRS	MKRS/TM6B	MKRS/+
+	TM6B/+	+/+

Fonte: O autor (2024).

Quadro 10 — Agrupamento 4. ♂ Sco/+; CYO/+

♂ /♀	Sco	+
CYO	Sco/CYO	CYO/+
+	Sco/+	+/+

Fonte: O autor (2024).

Quadro 11 — Agrupamento 4. TM6B/+; MKRS/+♀;

♂ /♀	TM6B	+
MKRS	MKRS/TM6B	MKRS/+
+	TM6B/+	+/+

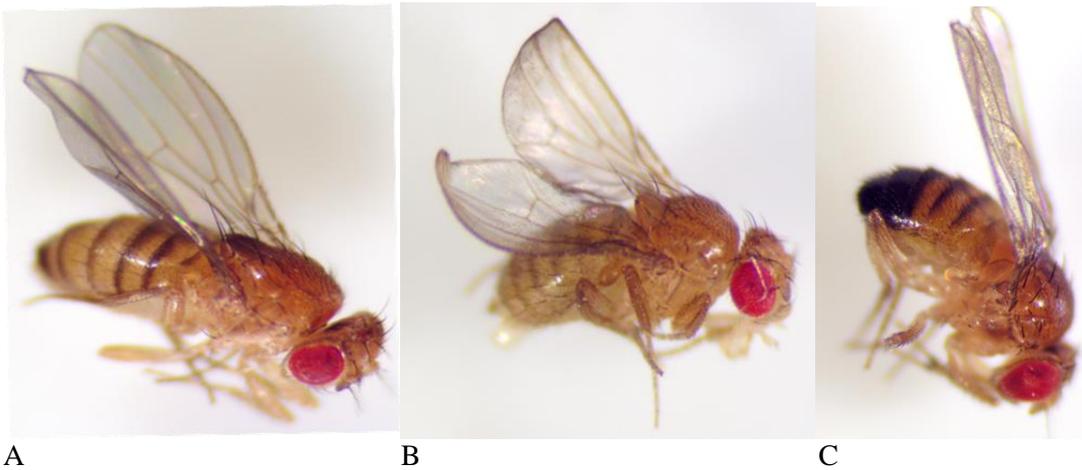
Fonte: O autor (2024).

Nos resultados dos quatro agrupamentos ilustrados acima, foram obtidas as moscas com as combinações de genótipo Sco/CYO; +/+, mutações presentes no cromossomo dois e as moscas com genótipo +/+; MKRS/TM6B, mutações presentes no cromossomo três, necessárias para serem utilizadas nas aulas da sequência didática. Essas moscas foram identificadas no estereomicroscópio, separadas e cultivadas em garrafas Figuras 1 e 2, ficando assim, estabelecidas as linhagens que foram utilizadas na sequência didática.

Essas moscas, com as combinações genotípicas e fenotípicas necessárias para serem utilizadas na sequência didática, estabelecidas nos quatro agrupamentos, só foram cruzadas novamente entre si ou com mosca selvagens, a fim de evidenciar como as características são combinadas e transmitidas de uma geração para outra e como determinadas combinações podem ser letais, na ocasião da realização da sequência didática, conforme detalhamento no tópico:

Abaixo, na Figura 12, estão representadas linhagens de moscas selvagem e portadoras dos genótipos e fenótipos citados, bem como, dos meios de cultivo, Figura 13, moscas obtidas com os cruzamentos e estabelecimento das linhagens utilizadas na sequência didática.

Figura 12. A Mosca selvagem $+/+$.1mm, B. Mosca Sco/CYO; $+/+$. 1 mm e C. Mosca $+/+$; MKRS/TM6B. 2 mm.



A

B

C

Fonte: O autor (2024)

Figura 13. A - Moscas $+/+$; MKRS/TM6B cultivadas. B - Moscas Sco/CYO; $+/+$ e $+/+$; MKR/TM6B cultivadas. C - Moscas Sco/CYO; $+/+$ cultivadas. D - Moscas Sco/CyO; $+/+$ e $+/+$; MKRS/TM6B cultivadas



A



B



C



D

Fonte: O autor (2024).

7 REFERENCIAL TEÓRICO

Os resultados expostos no presente trabalho, foram obtidos a partir da execução uma sequência didática planejada com base na metodologia de ensino por investigação. Segundo essa metodologia, uma prática de ensino por investigação parte de uma problematização a qual consiste em uma questão problema que é colocada para os estudantes sobre um conteúdo que será trabalhado, os estudantes deverão formular hipótese (s), a (s) qual (is) serão testadas mediante a proposta de atividades investigativas que serão executadas pelos estudantes. Os resultados serão analisados e possibilitarão a confirmação ou refutação da (s) hipótese (s) previamente formulada (s) Sasseron, 2015.

7.1 Mosca-da-fruta é arma para desvendar os grandes mistérios da vida

A mosca-da-fruta, ou *Drosophila melanogaster*, seu nome científico, vem sendo estudada há mais de cem anos.

Sim, moscas-das-frutas gostam de bananas. Você as encontra na cesta quando as frutas começam a estragar.

Mas elas também são um ótimo mecanismo para investigar o tempo ou, mais especificamente, os efeitos do tempo. Isso porque o ciclo de vida delas é tão curto que permite estudá-las por gerações e gerações, o que é quase impossível com humanos.

Elas custam pouco e se reproduzem de maneira extremamente rápida. Em temperatura ambiente, uma fêmea pode botar de 30 a 50 ovos por dia durante sua vida. O ciclo reprodutivo é curto, de 8 a 14 dias, e essas moscas podem se tornar avós e avôs em apenas 3 a 4 semanas.

Com três milímetros de tamanho, populações de milhões desses insetos podem ser mantidas em um laboratório e sustentadas com uma dieta simples de carboidratos e proteínas, geralmente farinha de milho e extratos de levedura.

Em 1933, Thomas Hunt Morgan ganhou um prêmio Nobel por estudar como a *Drosophila* recebia de herança uma mutação genética que deixava seus olhos brancos, e não vermelhos.

A pesquisa de Morgan levou à teoria sobre genes produzidos pelo DNA serem carregados por cromossomos, que eram transmitidos por gerações. A descoberta preparou o terreno para a genética moderna e o estudo da teoria cromossômica da herança.

Desde então, estudos conduzidos nessas moscas levaram a cinco premiações no Nobel, em 1946, 1995 e 2011. Conhecimento atual sobre como nos desenvolvemos, nosso comportamento, envelhecimento e evolução todos são construídos sobre a base dessas pesquisas com moscas-da-fruta.

E quanto mais as estudamos mais descobrimos que somos parecidos: 75% dos genes associados a doenças humanas têm um correspondente identificável na mosca-da-fruta.

A *Drosophila* tem quatro pares de cromossomos e cerca de 14 mil genes. Compare isso com os humanos, que têm cerca de 22,5 mil genes, e a levedura, com 5,8 mil genes, e somos muito mais parecidos do que você possa imaginar.

Essa proximidade genética relativa significa que experimentos com *Drosophila* podem ser traduzidos de maneira efetiva para humanos. Deixamos as moscas bêbadas para estudar o vício ao álcool, investigamos o sono delas e como são afetadas pelo café e descobrimos que moscas mais velhas dormem menos.

Os primeiros genes do "jet lag" foram identificados em moscas, e hoje sabemos que também os temos.

Milhares de cientistas usam *Drosophila* como um organismo modelo pelo mundo, e até fora do planeta. Moscas-da-fruta foram os primeiros animais lançados ao espaço e há um laboratório permanente de moscas-da-fruta na Estação Espacial Internacional. O espaço serve para estudar coisas como por que astronautas são mais suscetíveis a doenças enquanto estão no espaço.

Por que então, se somos tão próximos geneticamente, somos diferentes das moscas e até das leveduras em um monte de outras coisas?

Terceiro segredo' da vida

Peter Lawrence, autor do livro *The Making of the Fly* (A Construção da Mosca, em tradução livre), descreve isso como o "terceiro segredo da vida".

Em entrevista à BBC, ele contou que o primeiro segredo é a teoria da evolução de Charles Darwin, que "descreve a gênese de todas as plantas e animais, de tudo, desde o começo".

"A segunda é a descoberta do DNA, porque sem entender como essa informação é codificada e armazenada nessa molécula não saberíamos muito sobre o mecanismo que está por trás da vida", afirma.

O terceiro segredo é uma pergunta que Lawrence vê como o maior desafio colocado aos biólogos do futuro.

"É algo tão cotidiano que nem pensamos a respeito. O que difere um rinoceronte de um hipopótamo?", ele diz.

"Quando você olha para os genes, não há muita diferença. Então o que produz os padrões e tudo mais? Onde o tamanho do seu nariz está especificado? O que faz as crianças se parecerem com os pais, o que determina o formato de um rosto? Nós não sabemos. Esse, para mim, é o grande problema sem solução na biologia, e que chamo de 'terceiro segredo da vida'."

É um assunto que cientistas já tentaram investigar. Moscas com asas maiores foram analisadas, por exemplo, para tentar isolar os genes responsáveis pelo aumento de tamanho. Pesquisadores compararam espécies com relação evolutiva semelhante e examinaram as diferenças que conduziram a morfologias distintas.

Mas, de acordo com Lawrence, esses estudos são importantes por ajudarem a encaixar peças nesse quebra-cabeça. Só que há ainda um longo caminho até desvendarmos o "grande mistério", e ainda precisamos torná-lo um foco maior de pesquisa.

"Se você olhar para todo o universo da ciência você uma grande área escura, e se olhar mais perto verá alguns pontos bem iluminados aqui e acolá, e em cada um há pesquisadores discutindo entre si, mas eles não olham para fora dessas janelas para imaginar o que possa estar lá", diz o cientista.

Quaisquer sejam as respostas, afirma Lawrence, elas provavelmente serão descobertas estudando as boas e velhas moscas-das-frutas.

(Esse texto pode ser encontrado no site <https://www.bbc.com/portuguese/vert-earth-37014344>)

Na quarta aula, foi disponibilizado para os estudantes o texto que se segue abaixo, sobre mutações genéticas a fim de que pudessem compreender o conceito de mutação genética e ampliar os conhecimentos sobre o assunto conforme a necessidade evidenciada na segunda aula, mediante a aplicação do questionário para verificação de conhecimentos prévios.

7.1.1 Mutações Gênicas: Definição e Importância

Ao imaginarmos o DNA pensamos muitas vezes em uma molécula estável e de replicação extremamente eficiente. No entanto, um olhar mais atento nos mostrará que, por vezes, algumas sequências de nucleotídeos desta incrível molécula da vida podem ser alteradas de forma natural ou não, processo que chamamos de mutação gênica.

Mutações gênicas são modificações nos nucleotídeos de DNA (A, T, C e G) de um organismo. É o processo pelo qual os genes mudam de uma forma alélica para outra,

portanto, as mutações são consideradas fonte de variabilidade genética. Embora a maioria das mudanças no DNA leve a efeitos ruins, a mutação gênica é vital para a evolução. Caso não ocorresse mutação, o material genético primordial ainda estaria igual e, possivelmente, ainda seríamos bactérias primitivas. A mutação fornece novas combinações genéticas, sendo a matéria prima para a evolução. É sobre a variabilidade gerada pelas mutações e pela recombinação que opera a seleção natural, permitindo que as populações evoluam e se adaptem aos mais diversos tipos de ambientes. Embora as mutações sejam muito importantes para a adaptação e evolução das populações e espécies, devemos ter em mente que estas não ocorrem para benefício de um organismo em uma determinada situação. As mutações simplesmente ocorrem e são filtradas pela seleção natural, de modo que permanecem apenas as adaptativas.

Como Surgem as Mutações?

Dependendo da sua origem, as mutações gênicas podem ser classificadas como espontâneas ou induzidas. Mutações espontâneas são aquelas que ocorrem naturalmente, sem uma causa aparente. As mutações induzidas são aquelas que aparecem em decorrência da utilização de agentes mutagênicos.

Entre as mutações espontâneas podemos citar a depurinação e a desaminação. No primeiro caso uma base púrica (A ou G) de um nucleotídeo é perdida, gerando um sítio apurínico. Assim, durante a replicação do DNA, esse sítio não pode atuar como molde na formação da fita complementar. Como consequência, um nucleotídeo qualquer é incorporado como complementar ao sítio apurínico, geralmente ocorrendo a incorporação de uma adenina. A desaminação consiste na perda de um grupo amino (NH₂) de uma base nitrogenada. Essa modificação química altera o padrão de pareamento, por exemplo, a desaminação da citosina faz com que ela se comporte como uma uracila e forme par com a adenina durante a replicação.

Uma mutação pode ser induzida por análogos de bases. Estas são substâncias que tem uma estrutura química similar a uma das bases nitrogenadas do DNA. Devido a tal similaridade, a DNA polimerase não consegue distinguir entre a base correta do DNA e o análogo, podendo incorporar erroneamente este último durante a replicação do DNA. Um exemplo de análogo de bases é o 5-bromouracil (5BU), um análogo da timina, que pode ser incorporado em seu lugar durante a replicação. O análogo normalmente parecia com a adenina, mas às vezes pode parear com a guanina levando a erros nas replicações que seguem a sua incorporação.

As mutações também podem ser induzidas pelos chamados agentes alquilantes. Estas substâncias doam grupos alquila metil (CH₃) e etil (CH₃-CH₂) para as bases nitrogenadas, modificando seus padrões naturais de pareamento durante a replicação do DNA. Um exemplo de substância alquilante é o etilmetilsulfonato (EMS), o qual doa um grupo etil para a guanina, de modo que esta forma par com timina. O EMS também adiciona um grupamento etil na timina, provocando o seu pareamento com a guanina.

A desaminação pode ocorrer de forma espontânea, como dito anteriormente, ou ser induzida. Algumas substâncias produzem desaminação, um exemplo é o ácido nitroso que desamina a citosina convertendo-a em uracila. Durante a replicação esta uracila pareará com a adenina. O ácido nitroso também desamina a guanina, produzindo um nucleotídeo com a base xantina, o qual pode parear com a timina.

Outra substância que induz mutações é a Hidroxilamina, responsável por adicionar grupos hidroxila às citosinas. Esta alteração química produz uma estrutura rara da citosina, de modo que durante a replicação está pareia com a adenina.

Outras substâncias que ocasionam mutações são os agentes intercalantes, os quais se intercalam dentro da dupla fita de DNA, causando inserções e deleções. Exemplos de substâncias intercalantes são a proflavina, a acridina laranja, a dioxina e o brometo de etídio.

As mutações também podem ser geradas por radiações, exemplos são os raios X, que podem quebrar o DNA em fita simples ou dupla e a luz ultravioleta, que pode promover a formação de dímeros de pirimidinas (pareamento de timina-timina, citosina-citosina ou timinacitosina). Esses dímeros distorcem a dupla fita de DNA e bloqueiam a replicação até serem consertados pelos mecanismos de reparo.

Onde Ocorrem as Mutações?

Nos organismos multicelulares podemos encontrar dois grandes tipos de células, as somáticas e as gaméticas (germinativas). As primeiras apresentam a mitose como mecanismo de divisão celular, já as células germinativas se dividem, principalmente, por meiose. Desta forma, dependendo do tipo celular onde ocorrem, podemos classificar as mutações em somáticas e gaméticas. Assim, as mutações somáticas são as que ocorrem nas células somáticas e se espalham por mitose em um organismo. Este tipo de mutação é importante porque pode desencadear o câncer. As mutações gaméticas surgem nas células que originam gametas e podem ser transmitidas, podendo se expressar na linhagem somática da próxima geração. Desta forma, as mutações em células germinativas são muito importantes para a evolução.

Como se Classificam as Mutações?

Em relação a sua natureza molecular podemos classificar as mutações em substituições, inserções e deleções. As substituições consistem na troca de um nucleotídeo por outro. Podem ser de dois tipos: Transições ou Transversões. Nas transições uma purina é trocada por outra purina, ou uma pirimidina por outra pirimidina. Nas transversões uma purina é trocada por uma pirimidina ou vice-versa.

As inserções e deleções consistem na adição ou deleção de um ou alguns nucleotídeos. O principal problema desses tipos de mudanças é que afetam a matriz de leitura. Os nucleotídeos do RNA mensageiro são lidos de três em três durante a tradução. Quando adicionamos ou deletamos nucleotídeos a matriz de leitura muda do ponto da adição ou deleção até o códon de parada. Assim, este tipo de mutação poderá mudar a sequência de aminoácidos desde o ponto onde ocorre a mutação até o códon de parada da tradução. Caso a inserção ou deleção for de três, ou múltiplos de três nucleotídeos, a mudança será menor, podendo afetar somente os códons que perderam ou ganharam nucleotídeos, mas não se estenderá até o códon de parada da tradução.

As mutações ocorrem ao nível molecular e nem sempre apresentam efeitos fenotípicos. Quando não ocorre mudança no fenótipo, a mutação causa apenas uma alteração no nucleotídeo e não gera uma mudança no aminoácido da proteína. Isso se deve ao fato de que vários aminoácidos são codificados por mais de um códon (código genético degenerado). As mutações que mudam os nucleotídeos e não mudam o aminoácido são chamadas de silenciosas. A seguir as mutações serão classificadas de acordo com suas consequências sobre o fenótipo.

O efeito fenotípico da mutação é observado na comparação de um indivíduo mutante com outro indivíduo sem a mutação, chamado de selvagem (Figura 5). Quando observamos que o fenótipo mutante é diferente do selvagem a mutação é chamada de direta. Às vezes o mutante muda novamente e restaura o fenótipo selvagem. Neste caso a nova mutação recupera o nucleotídeo original e restaura o mesmo aminoácido. Há também as mutações supressoras, neste caso a mudança não reverte o estado molecular selvagem, mas esconde ou suprime o efeito fenotípico da mutação direta. A mutação supressora não anula o que aconteceu na primeira mutação, mas, devido a uma segunda mutação, os efeitos da primeira são anulados. Na figura 14, a representação de uma mosca *Drosophila melanogaster* com fenótipo selvagem.

Figura 14 — *Drosophila melanogaster*, mosca com fenótipo selvagem.



Fonte: Imagens do Atlas of Drosophila Morphology

Outras mutações com efeito fenotípico são as condicionais, nas quais o fenótipo mutante aparece em determinadas condições, por exemplo, a temperaturas acima de 28°C ocorre o fenótipo mutante, mas abaixo dessa temperatura se expressa o fenótipo selvagem.

Finalmente, temos as mutações letais, onde o indivíduo não nasce devido à presença de uma mutação.

(Texto retirado do livro Genética Geral Para Universitários, editora universitária da UFRPE, 1ª edição, 2015).

8. RESULTADOS

Os resultados a seguir descrevem como a sequência didática foi realizada com os estudantes, bem como, os resultados obtidos a partir dela.

8.1 Realização da sequência didática com os estudantes

A realização dessa sequência didática ocorreu ao longo de sete aulas distribuídas em três semanas, sendo três aulas em duas semanas e uma aula na última semana. Participaram da prática dessa sequência de ensino investigativo 27 estudantes do terceiro ano do ensino médio da escola Simôa Gomes. Na primeira e segunda aula, com o auxílio do estereomicroscópio e de lupas, os estudantes tiveram acesso às moscas portadoras dos genótipos e fenótipos selecionados para observação e estudo. As moscas, anestesiadas, foram identificadas e separadas de acordo com o genótipo/fenótipo em estudo pelos estudantes.

Essa sequência didática teve como tema: TEMA: ENSINO DE MUTAÇÕES GÊNICAS E HERANÇA DE GENÉTICA CLÁSSICA A PARTIR DE ATIVIDADES INVESTIGATIVAS BASEADAS EM UM MODELO ANIMAL: *Drosophila*

melanogaster. Ao longo da sequência foram trabalhados conceitos de mutação genética e herança genética mendeliana mediante abordagem investigativa em aulas teóricas e práticas com *Drosophila melanogaster* (moscas das frutas).

Os objetivos foram os seguintes: Realizar cruzamentos entre *Drosophila melanogaster* com as mutações Sco/CYO x *Drosophila melanogaster* tipo selvagem +/+; *Drosophila melanogaster* tipo selvagem +/+ x *Drosophila melanogaster* com as mutações MKRS/TM6B) e avaliar a progênie com os estudantes relacionando a transmissão dessas características mutantes com a 2ª Lei de Mendel;

Realizar cruzamentos entre *Drosophila melanogaster* com as mutações Sco/CYO x *Drosophila melanogaster* Sco/CYO; *Drosophila melanogaster* com as mutações MKRS/TM6B x *Drosophila melanogaster* com as mutações MKRS/TM6B e avaliar a progênie com os estudantes relacionando a transmissão dessas características mutantes com a 2ª Lei de Mendel e a ocorrência de letalidade;

Descrever as características fenotípicas resultantes do cruzamento realizados com *Drosophila melanogaster*;

Compreender como as características fenotípicas surgem em um indivíduo e como são transmitidas ao longo das gerações;

Conhecer as características dos insetos e relacioná-las a sua classificação.

A presente sequência didática apresentou uma sequência de atividades que teve como finalidade instigar os alunos a responderem à questão investigativa norteadora que se segue abaixo. Ao responderem à questão mediante a realização das atividades, espera-se que os objetivos elencados sejam atingidos, evidenciando uma melhor compreensão de genética.

Questão investigativa da sequência didática: **Como as mutações genéticas são transmitidas ao longo das gerações e como produzem características fenotípicas em um indivíduo?**

Na primeira aula, que teve duração de 50 minutos, foi abordada a 2ª Lei de Mendel (transmissão de duas ou mais características ao mesmo tempo). Os estudantes fizeram a análise no estereomicroscópio (ver figura abaixo) dos indivíduos da Geração Parental, portadores das mutações que foram escolhidas para serem estudadas (Sco/CYO x +/+); (Sco/CYO x Sco/CYO); (+/+ x MKRS/TM6B); (MKRS/TM6B x MKRS/TM6B) e que ao serem cruzados, originaram nos indivíduos da Geração F1, as características fenotípicas que foram analisadas no estereomicroscópio e discutidas na sexta e sétima aula.

Na figura 15, estudante observando fenótipo de moscas *Drosophila melanogaster* durante a aula prática da aplicação da sequência didática.

Figura 15 — Estudante observando fenótipo de moscas *Drosophila melanogaster* durante a aula prática da aplicação da sequência didática.



Fonte: O autor (2023).

Nessa segunda aula, cuja duração foi 50 minutos, foi aplicado um questionário para verificação do conhecimento prévio sobre as características morfológica, a clarificação dos insetos, mutações genéticas e herança genética. As informações sobre o conhecimento prévio dos estudantes, verificadas mediante este questionário, serviram de subsídio para planejar e direcionar as atividades propostas na quarta e quinta aula.

Questionário para levantamento do conhecimento prévio dos estudantes sobre características dos insetos

1. Sobre os insetos, a qual classe eles pertencem?

Dos 27 estudantes que responderam a esta questão, 2 (7,4 %) responderam de forma correta que os insetos pertencem a classe *insecta*, 13 (48,1 %) responderam que os insetos pertencem a classe *arthropoda*, 5 (18,5 %) apresentaram como resposta *Drosophila melanogaster*, 2 (7,4 %) apresentaram respostas imprecisas e 5 (18,5 %) deixaram em branco.

2. Em quantas partes o corpo dos insetos é dividido? Quais são elas?

Entre os 27 estudantes que responderam a esta questão, 12 (44,4 %) responderam de forma errada ou incompleta, 10 (37 %) apresentaram respostas corretas, citando cabeça, tórax e abdome e 5 (18,5 %) deixaram em branco.

3. Quantos pares de pés há nos insetos?

Dentre os 27 estudantes que responderam a esta questão, 21 (77,7 %) responderam corretamente, citando que os insetos possuem três pares de pés, 3 (11,1 %) responderam de forma errada, citando que os insetos possuem geralmente dois pares de pés e 3 (11,1 %) deixaram em branco.

4. Quantos pares de antenas há nos insetos?

Dos 27 estudantes que responderam a esta questão, 21 (77,7 %) responderam corretamente, citando que os insetos possuem um par de antenas, 3 (11,1 %) responderam de forma errada, citando que os insetos possuem geralmente dois pares de antenas e 3 (11,1 %) deixaram em branco.

5. As asas sempre estão presentes nos insetos?

Entre os 27 estudantes que responderam a esta questão, 11 (40,7 %) responderam corretamente, citando que as asas nem sempre estão presentes, 12 (44,4 %) responderam de forma errada, citando que as asas sempre estão presentes e 4 (14,8 %) deixaram em branco.

6. O que são mutações genéticas?

Dentre os 27 estudantes que responderam a esta questão, 5 (18,5 %) responderam corretamente, citando que mutações gênicas são mudanças que ocorrem nos nucleotídeos do genoma de um ser vivo, 16 (59,2 %) responderam de forma errada ou imprecisa e 6 (22,2 %) deixaram em branco.

7. Há diferença entre genótipo e fenótipo? Qual?

Do total de 27 estudantes que responderam a esta questão, 14 (51,8 %) responderam corretamente, citando que genótipo corresponde ao conjunto de genes e o fenótipo corresponde as características físicas observáveis em um ser vivo, 5 (18,5 %) responderam de forma imprecisa e 8 (29,6 %) deixaram em branco.

8. Como um fenótipo surge em um indivíduo de uma espécie?

Dos 27 estudantes que responderam a esta questão, 3 (11,1 %) responderam correto, citando que características fenotípicas surgem mediante mutações gênicas que ocorrem no genoma de um ser vivo, 14 (51,8 %) responderam de forma errada ou imprecisa e 10 (37,0 %) deixaram em branco.

9. Um fenótipo pode ser transmitido para os descendentes? De qual maneira isso ocorre?

Entre os 27 estudantes que responderam a esta questão, 9 (33,3 %) responderam correto, citando que características fenotípicas são transmitidas mediante herança

genética/herança dos genes, 8 (29,6 %) responderam de forma errada ou imprecisa e 10 (37,0 %) deixaram em branco. Na figura 21, foi registrado o momento em que os estudantes responderam ao questionário para verificação de conhecimentos prévios aplicado durante a segunda aula.

A partir da análise das respostas do questionário, ficou evidente a necessidade de fornecer textos especializados que pudessem ser utilizados pelos estudantes como material de consulta/pesquisa para ampliarem o conhecimento sobre genética e características dos insetos. Tais materiais foram disponibilizados para estudo no decorrer da quarta e quinta aula.

Na terceira aula, com duração de 50 minutos, foi disponibilizado para os alunos, o texto que se segue abaixo sobre a história das *D. melanogaster*. O referido texto, teve por finalidade, despertar a curiosidade dos alunos sobre como os estudos desenvolvidos com as moscas das frutas tem contribuído para o desenvolvimento do conhecimento científico, especialmente a genética.

Na quinta aula, foram trabalhadas as características fenotípicas da classe *Insecta*. Os estudantes realizaram leitura do texto abaixo sobre os insetos, observaram as imagens e responderam ao questionário acerca das características fenotípicas que caracterizam a classe *insecta* e a diferencia das demais classes que aloca os demais animais.

Como saber se é um inseto?

Os insetos, os escorpiões, as aranhas, os caranguejos, os carrapatos, os camarões e alguns mais pertencem ao filo Arthropoda, isto é, aqueles que possuem apêndices articulados (do grego “arthro”= articulado; “pous, podos” = pés).

Eles podem variar muito de tamanho, desde partes do milímetro até cerca de 20 cm.

Os insetos têm o corpo dividido em 3 partes, cabeça, tórax e abdome. Na cabeça têm 1 par de antenas, um par de olhos (chamados olhos compostos) e uma boca que, dependendo do inseto, pode mastigar, lambe ou sugar. No tórax têm 3 pares de pernas articuladas e a maioria tem asas.

Os insetos possuem simetria bilateral – o lado esquerdo é semelhante ao direito. Possuem um esqueleto externo que durante o crescimento de suas fases é trocado até chegar a adulto. O adulto não cresce mais.

Todo inseto nasce a partir de um ovo. Do ovo até chegar à fase adulta, o ciclo de vida, em geral, pode sofrer pequenas, médias ou grandes transformações, conhecidas como metamorfose – palavra de origem grega que significa “mudança de forma”. As transformações podem ser:

- Sem metamorfose: o inseto, ao sair do ovo é uma ninfa, muda de pele várias vezes, cresce a cada mudança, mas não difere dos adultos, que são diferentes das ninfas apenas por possuírem órgãos sexuais. Os adultos deste grupo não possuem asas. Ninfas e adultos vivem no mesmo tipo de ambiente e têm os mesmos tipos de alimentação. Exemplo: traça dos livros.
- Metamorfose gradual: o inseto ao sair do ovo é uma ninfa que, à medida que cresce e muda de pele várias vezes, fica cada vez mais parecida com o adulto; nos últimos estádios aparecem vestígios das futuras asas. Os adultos deste grupo têm geralmente dois pares de asas (alguns não têm) e órgãos sexuais desenvolvidos. Ninfas e adultos vivem no mesmo tipo de ambiente e têm o mesmo tipo de alimentação. Exemplo: baratas, gafanhotos, barbeiros, piolhos e percevejos de plantas.
- Metamorfose incompleta: o inseto ao sair do ovo é uma ninfa totalmente diferente do adulto; muda de pele algumas vezes e cresce. Toda essa fase é vivida na água; portanto, as ninfas vivem em ambientes diferentes do adulto, que é terrestre, possui dois pares de asas e vive ativamente. Exemplo: libélulas, lavadeiras, efemérides.
- Metamorfose completa: o inseto ao sair do ovo é uma larva vermiforme que, depois de várias mudanças de pele, cresce e se transforma numa pupa. As larvas nunca são parecidas com os adultos; vivem em ambientes totalmente diferente deles e sua alimentação também é diferente. A pupa geralmente é imóvel, mas nunca se alimenta. Os adultos possuem órgãos sexuais desenvolvidos e, dependendo do grupo, podem ser ápteros (as pulgas), com um par de asas (moscas e mosquitos) ou com dois pares de asas (besouros, borboletas e marimbondos).

Classificação

Desde o início da civilização, quando os homens começaram a dar nomes às plantas e aos animais que utilizavam para alimentação, vestuários e remédios, foi sentida a necessidade de fazer uma classificação dos animais e das plantas e a ideia foi evoluindo entre os povos.

Foi o naturalista sueco *Carl Linnaeus* que, em 1735, organizou os critérios para os nomes científicos de plantas e animais, o que facilitou o trabalho das pessoas que estudam os seres vivos, evitando que o mesmo animal ou planta tivessem vários nomes diferentes.

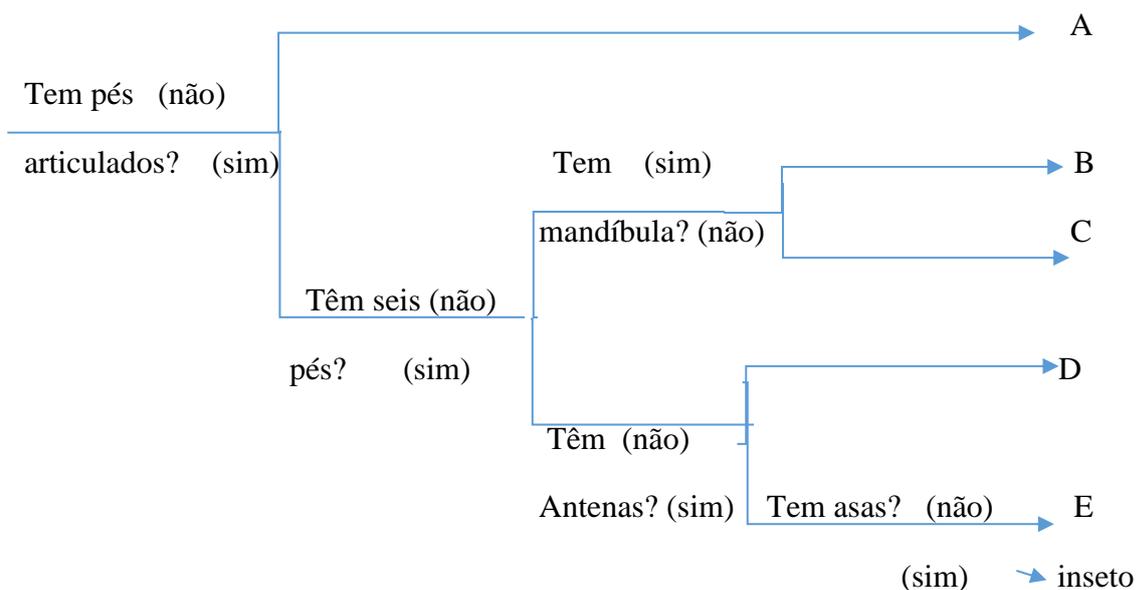
Hoje, as plantas, os animais, os fungos, os protoctistas, as bactérias e as arqueas são classificados em diferentes categorias: reino, filo, classe, ordem, família, gênero, espécie.

Quadro 12 — Classificação taxonômica da mosca das frutas e da espécie humana.

Classificação	Mosca das frutas	Homem
Reino	<i>Animalia</i>	<i>Animalia</i>
Filo	<i>Arthropoda</i>	<i>Chordata</i>
Classe	<i>Insecta</i>	<i>Mammalia</i>
Ordem	<i>Diptera</i>	<i>Primata</i>
Família	<i>Drosophilidae</i>	<i>Hominidae</i>
Gênero	<i>Drosophila.</i>	<i>Homo</i>
Espécie	<i>Drosophila melanogaster</i>	<i>Homo sapiens</i>

Fonte: O autor (2024).

A fim de identificar se um animal é um inseto responda as questões da chave dicotômica abaixo.

Figura 16 - Chave dicotômica para identificação de insetos.

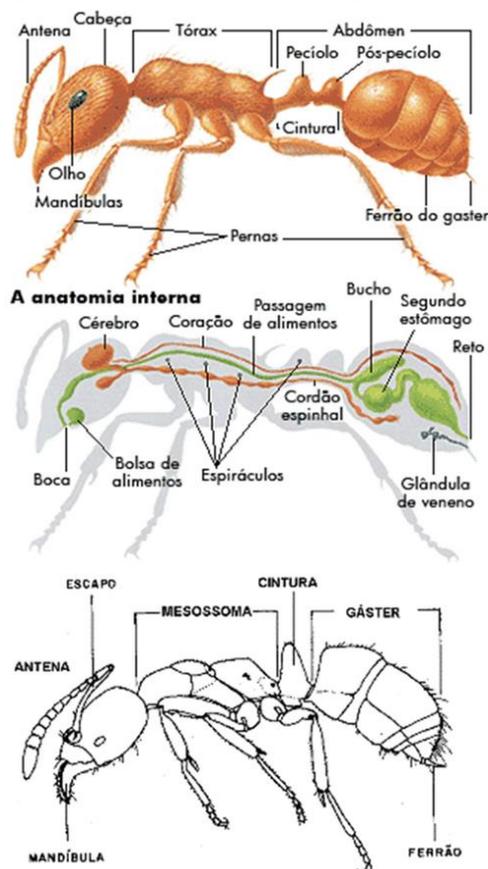
Fonte: O autor (2024).

Observação: Se o animal que você pretende saber se é um inseto, preenche as características da chave dicotômica abaixo, isto é, se você respondeu sim as questões da chave dicotômica, então ele é um inseto. Na figura 17 são representados o esquema anatômico de uma formiga, uma borboleta monarca e o esquema anatômico de um gafanhoto, respectivamente.

Atividade 1

Observe as imagens abaixo:

Figura 17. A - Esquema de anatomia de uma formiga. B - Foto de uma borboleta monarca. C - Esquema de anatomia de um gafanhoto.



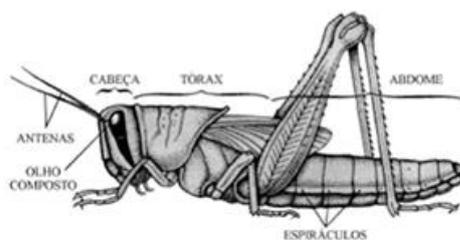
A

Fonte: <http://cencaestamosnos.blogspot.com/2013/06/formigas.html>



B

Fonte: https://images.google.com/?hl=xxelmer&gws_rd=ssl.



C

Fonte: <http://setimocientista.blogspot.com>.

1. Em quantas partes o corpo desse táxon de animais é dividido? Quais são elas?

Entre os 27 alunos que responderam a esta questão, 23 (85,1%) estudantes responderam adequadamente, citando as três partes que constituem o corpo dos animais dessa classe e 04 (14,8 %) responderam incorreto ou incompleto.

2. Quantos pares de pés há no tórax?

Dentre os 27 alunos que responderam a esta questão, 19 (70,3%) estudantes responderam adequadamente, citando que três pares de pés estão presentes nesse táxon de animais e 08 (29,6 %) responderam incorreto.

3. Quantos pares de antenas há nesse táxon de animais?

Dentre os 27 alunos que responderam a esta questão, 25 (92,5%) estudantes responderam adequadamente, citando que um par de antenas sempre está presente nos animais dessa classe e 02 (7,4 %) responderam incorreto ou incompleto.

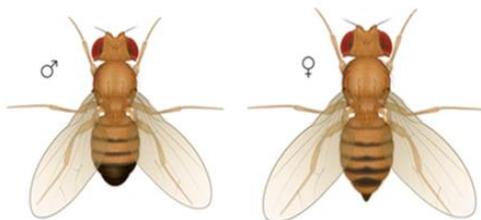
4. As asas sempre estão presentes nesse táxon de animais?

Entre os 27 alunos que responderam a esta questão, 24 (88,8%) estudantes responderam adequadamente, citando que as asas nem sempre estão presentes no corpo dos animais dessa classe e 03 (11,1%) responderam incorreto ou incompleto.

Atividade 2

Nesta atividade, os estudantes observaram diversas imagens, a fim de diferenciar o gênero, macho e fêmea e compararam o fenótipo selvagem com os fenótipos mutantes (Sco/CyO; +/+ e +/+; MKRS/TM6B) que foram trabalhados na aula prática. Nas figuras 18 e 19 são representados os esquemas de moscas *Drosophila melanogaster* mostrando as diferenças fenotípicas entre macho e fêmea e o dimorfismo sexual em *Drosophila melanogaster*, respectivamente.

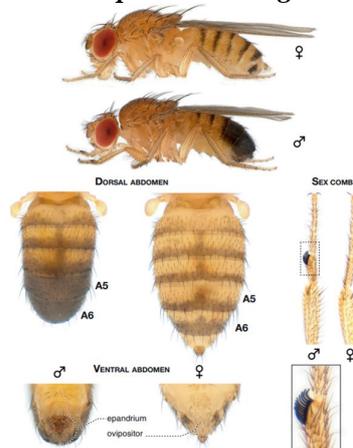
Figura 18 — Esquema de moscas *Drosophila melanogaster* mostrando as diferenças fenotípicas entre macho e fêmea.



Fonte: https://images.google.com/?hl=xx-elmer&gws_rd=ssl.

Observe a imagem abaixo:

Figura 19 — Dimorfismo sexual em *Drosophila melanogaster*



Fonte: Imagens do Atlas of *Drosophila* Morphology.

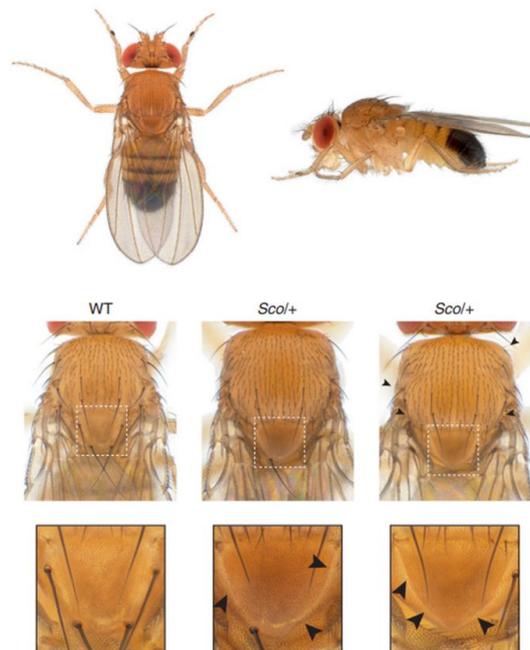
1ª questão: Quais são as diferenças fenotípicas entre macho e fêmea?

Entre os 27 alunos que responderam a esta questão, 25 (92,5%) estudantes responderam adequadamente, citando as diferenças entre machos e fêmeas como diferença de coloração, formato do abdome, presença de cerdas maiores nas patas dos machos em comparação com as cerdas nas patas das fêmeas, 01 (3,7%) respondeu incorreto e 01 (3,7%) deixou em branco. Exemplos de resposta de dois estudantes: “O macho possui o abdome mais arredondado e a fêmea mais triangular”. “O macho tem o abdome mais escuro e circular. A fêmea tem o abdome claro e pontudo”.

Na figura 20 de *Drosophila melanogaster* são apresentadas as diferenças fenotípicas entre o tipo selvagem e o portador do fenótipo *Sco* que apresenta menos de quatro cerdas na região *Scutellum* em comparação ao tipo selvagem que apresenta quatro cerdas na região do *Scutellum*.

Observe a imagem abaixo:

Figura 20 — *Scutoid* tipo selvagem com quatro cerdas e *Scutoid* com a mutação *Sco* sem cerdas.



Fonte: Imagens do Atlas of Drosophila Morphology.

2ª questão: Qual é a diferença fenotípica entre o tipo selvagem e o portador da mutação *scutoid*?

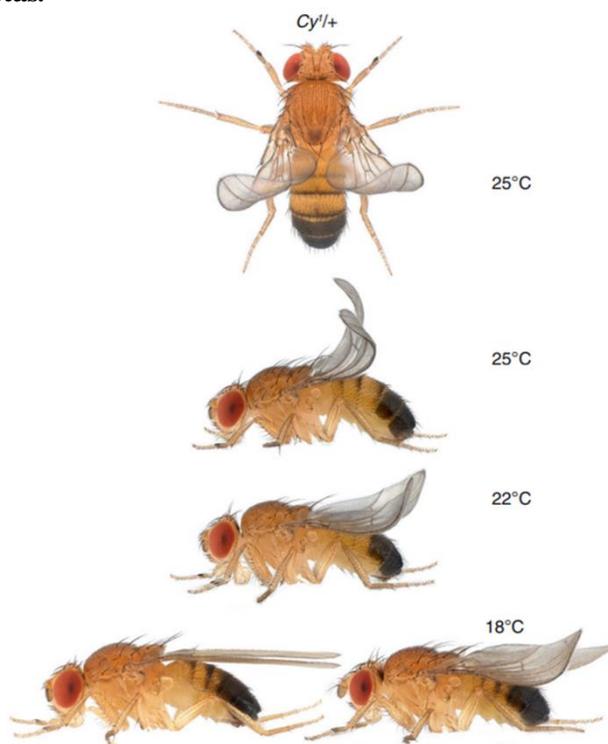
Dos 27 estudantes que responderam a esta questão, 21 (77,7%) responderam adequadamente, citando as diferenças de quantidade de cerdas nos tipos selvagens e

Scutoid, 06 (22,2%) responderam incorreto. Exemplos de resposta de dois estudantes: “O tipo selvagem sempre apresenta 4 cerdas os mutantes sempre apresentam menos de 4”.

Na figura 21 de *Drosophila melanogaster* são apresentadas as diferenças fenotípicas entre o tipo selvagem e o portador do fenótipo CYO que apresenta asas curvas em comparação ao tipo selvagem com asas retas.

Observe a imagem abaixo.

Figura 21 — *Drosophila melanogaster* mostrando as diferenças fenotípicas entre o tipo selvagem e o portador do fenótipo CYO que apresenta asas curvas em comparação ao tipo selvagem com asas retas.



Fonte: Imagens do Atlas of Drosophila Morphology.

3ª questão: Qual é a diferença fenotípica entre o tipo selvagem e o portador da mutação *curly* (CYO)?

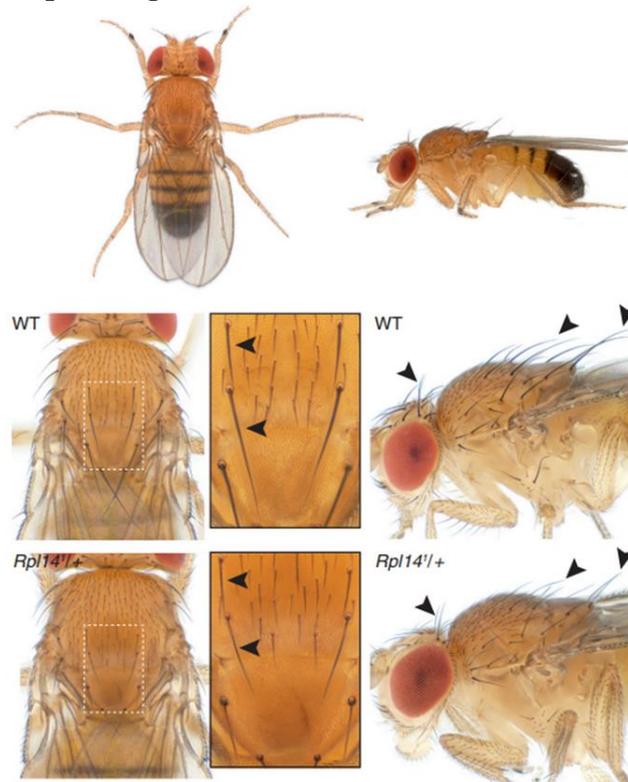
Dentre os 27 estudantes que responderam a esta questão, 20 (74,0%) responderam adequadamente, citando as diferenças nas curvaturas das asas nos indivíduos mutantes e presença de asas retas em relação ao corpo nas moscas selvagens, 07 (25,9%) responderam de forma incompleta. Exemplos de resposta de dois estudantes: “As asas do tipo selvagem são retas, asa mutantes apresentam as asas curvadas”. “As selvagens possuem as asas retas e as portadoras de mutações as asas curvadas para cima”.

Na figura 22, são mostradas as diferenças fenotípicas entre o tipo selvagem e o portador da mutação MKRS que apresenta cerdas mais curtas e mais grossas na região

dorsal em comparação com o tipo selvagem em comparação com o tipo selvagem em *Drosophila melanogaster*.

Observe a imagem abaixo:

Figura 22 — *Drosophila melanogaster* mostrando as diferenças fenotípicas entre o tipo selvagem e o portador da mutação MKRS que apresenta cerdas mais curtas e mais grossas em comparação com o tipo selvagem.



Fonte: Imagens do Atlas of Drosophila Morphology.

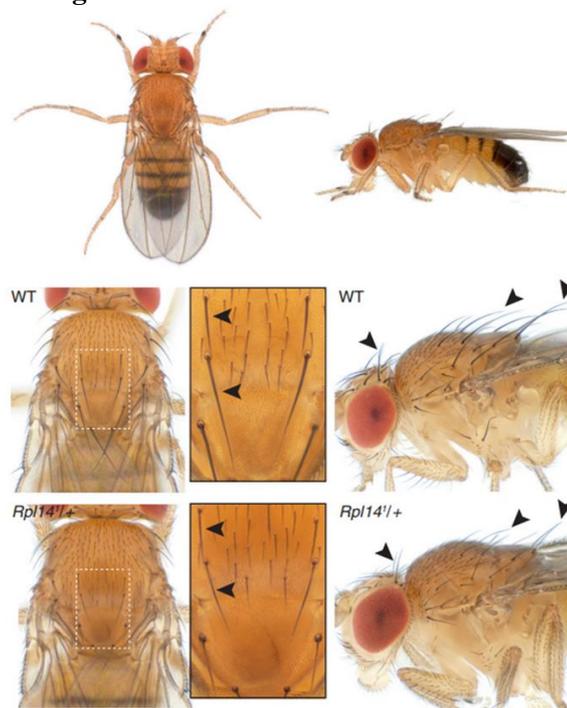
4ª questão: Qual é a diferença fenotípica entre o tipo selvagem e o portador da mutação MKRS?

Dos 27 estudantes que responderam a esta questão, 24 (88,8%) responderam adequadamente, citando as diferenças no tamanho e espessura nas cerdas dos indivíduos mutantes e presença de cerdas mais finas e longas nas moscas selvagens, 03 (11,1%) responderam de forma errada ou incompleta. Exemplos de resposta de dois estudantes: “O tipo selvagem apresenta cerdas mais longas e finas em comparação ao portador de mutação que possui cerdas mais grossas e menores”. “Os portadores de mutação MKRS apresentam cerdas mais grossas e mais curtas e as selvagens mais finas e mais longas”.

Na figura 23, são mostradas as diferenças fenotípicas entre o tipo selvagem e o portador da mutação TM6B que apresenta cerdas extras no úmero em comparação com o tipo selvagem em *Drosophila melanogaster*.

Observe a imagem abaixo:

Figura 23 — *Drosophila melanogaster* mostrando as diferenças fenotípicas entre o tipo selvagem e o portador da mutação TM6B que apresenta cerdas extras no úmero em comparação com o tipo selvagem.



Fonte: Imagens do Atlas of Drosophila Morphology.

5ª questão: Qual é a diferença fenotípica entre o tipo selvagem e o portador da mutação TM6B?

Entre os 27 estudantes que responderam a esta questão, 24 (88,8%) responderam adequadamente, citando as diferenças no tamanho e espessura das cerdas dos indivíduos mutantes e presença de cerdas mais finas e longas nas moscas selvagens, 03 (11,1%) responderam de forma errada ou incompleta. Exemplos de resposta de dois estudantes: “O tipo selvagem possui duas cerdas na região umeral. Já o portador da mutação mais ou menos cinco cerdas na região umeral”. “O tipo selvagem apresenta duas cerdas na região umeral. Já a mutação TM6B apresenta 5 cerdas”.

6ª aula (50 minutos)

Nessa aula, foram analisados os resultados dos cruzamentos feitos na primeira aula. Os estudantes realizaram análise no estereomicroscópio dos indivíduos da Geração F1. Os resultados esperados nessa Geração F1 foram os seguintes: (ver quadro de Punnett).

Os estudantes separaram as moscas por genótipo e fenótipo, no estereomicroscópio, durante a aula prática da aplicação da sequência didática.

Quadro 13 — Genótipo 2/4 ou 50% Sco/+ Genótipo 2/4 ou 50% CYO/+ Fenótipo 2/4 ou 50% Sco Fenótipo 2/4 ou 50% CYO

♂ / ♀	Sco	CYO
+	Sco/+	CYO/+
+	Sco/+	CYO/+

Fonte: O autor (2024).

Quadro 14 — Genótipo Sco/+Sco 1/4 ou 25% letal Genótipo CYO/CYO ¼ ou 25% letal e fenótipo Genótipo Sco/CYO 2/4 ou 100% e Fenótipo 2/4 ou 100% Sco/CYO

♂ / ♀	Sco	CYO
Sco	Sco/Sco	Sco/CYO
CYO	Sco/CYO	CYO/CYO

Fonte: O autor (2024).

7ª aula (50 minutos)

Nessa aula foram analisados os resultados dos cruzamentos feitos na 1ª aula. Os estudantes fizeram análise no estereomicroscópio dos indivíduos da Geração F1. Os resultados esperados nessa Geração F1 foram os seguintes: (ver quadro de Punnett). Na figura 24, estudante separando as moscas por genótipo e fenótipo.

Quadro 15 — Genótipo 2/4 ou 50% MKRS/+ Genótipo 2/4 ou 50% TM6B/+ Fenótipo 2/4 ou 50% MKRS Fenótipo 2/4 ou 50% TM6B

♂ / ♀	MKRS	TM6B
+	MKRS/+	TM6B/+
+	MKRS/+	TM6B/+

Fonte: O autor (2024).

Quadro 16 — Genótipo 2/4 ou 50% MKRS/TM6B, Genótipo 1/4 ou 25% MKRS/MKRS (letal), Genótipo 1/4 ou 25% TM6B/TM6B (letal) e Fenótipo 2/2 ou 100% MKRS/TM6B.

♂ / ♀	MKRS	TM6B
MKRS	MKRS/MKRS	MKRS/TM6B
TM6B	MKRS/TM6B	TM6B/TM6B

Fonte: O autor (2024).

Durante a realização das atividades práticas da sexta e sétima aula, os estudantes observaram e separaram as moscas com o auxílio do estereomicroscópio encontrando as proporções genóticas aproximadas de 50% de machos e fêmeas, 50% Sco e 50% CYO quando moscas selvagens foram cruzadas com moscas portadoras das mutações Sco/CYO.

As proporções de 100% Sco/CYO foram encontradas quando moscas Sco/CYO foram cruzadas com moscas de igual genótipo, evidenciando que a combinação Sco/Sco ou CYO/CYO são letais. Os estudantes encontraram as proporções de 50% MKRS e 50% TM6B quando moscas selvagens foram cruzadas com moscas portadoras das mutações MKRS/TM6B. As proporções 100% MKRS/TM6B foram encontradas quando moscas MKRS/TM6B foram cruzadas com moscas de igual genótipo, evidenciando que a combinação MKRS/MKRS ou TM6B/TM6B são letais.

Os estudantes responderam as seguintes questões:

1. As características presentes na Geração Parental apareceram na Geração F1?

Por que isso aconteceu?

Entre os 27 estudantes que responderam a esta questão, 25 (92,5%) responderam sim, e explicaram que tais características são transmitidas de uma geração para outra por meio dos genes, e 02 (07,4%) responderam de forma errada ou incompleta. Exemplos de resposta de dois estudantes: “Sim. Nascem com asas curvas, com pelagem nas costas, com pelos curtos ou mais grossos. Elas são transmitidas através dos genes”. “Sim, asas e os pelos, por causa dos genes recebem características, que são passadas de geração em geração”.

2. Os indivíduos da geração F1 possuem as mesmas combinações de características que os indivíduos da Geração Parental?

Dos 27 estudantes que responderam a esta questão, 24 (88,8%) responderam não, explicando que as características aparecem na geração F1 combinadas de forma diferente em comparação com as características da Geração Parental, 03 (11,1%) responderam de forma errada ou incompleta. Exemplos de resposta de dois estudantes: “Não, as combinações são diferentes por mais que algumas coisas permaneçam”. “Não, porque elas se combinam de forma diferente na geração F1”.

3. Como se explica a combinação de características presente nos indivíduos da geração F1?

Dentre os 27 estudantes que responderam a esta questão, 26 (96,2%) responderam adequadamente, citando que os genes se separam independentemente e se recombinam ao acaso, 01 (3,7%) respondeu de forma errada. Exemplos de resposta de dois estudantes: “Pela separação dos alelos e recombinação ao acaso”. “Os genes se separam individualmente e se juntam aleatoriamente”.

9. DISCUSSÃO

Este trabalho foi desenvolvido com base em uma sequência didática que inicialmente havia sido planejada para sete aulas. Na primeira aula, foi apresentada aos estudantes a seguinte questão investigativa: **Como as mutações genéticas são transmitidas ao longo das gerações e como produzem características fenotípicas em um indivíduo?** A partir dessa questão investigativa, os estudantes formularam suas hipóteses. Na sequência, foram disponibilizadas moscas com as características fenotípicas que foram estudadas ao longo das aulas da sequência didática, para que os estudantes pudessem observá-las na lupa e/ou no estereomicroscópio e assim conhecerem tais características. Após a observação, as moscas portadoras das características a serem estudadas foram colocadas em vials para que pudessem se reproduzir e originar a Geração F1. O processo de análise das características das moscas pelos estudantes, nessa primeira aula demandou mais tempo do que o planejado, dessa maneira, foi necessário fazer uso do tempo de uma segunda aula para os alunos continuarem analisando as características das moscas. Embora a sequência didática tenha sido planejada para sete aulas, foi executada em oito aulas e com esse total de aulas proposta nesse trabalho, por ter se mostrado mais adequado.

No decorrer da terceira aula, foi aplicado um questionário para verificação do conhecimento prévio dos estudantes sobre os insetos e sobre a herança de características fenotípicas. Os resultados desse questionário evidenciaram deficiências no conhecimento sobre os insetos e herança de características fenotípicas, tais deficiências foram trabalhadas ao longo das atividades propostas na sequência didática, a fim de que os alunos pudessem superá-las. Esses resultados são semelhantes aos resultados encontrados por Loureiro, 2018, o qual afirma que os estudantes demonstraram ausência de conhecimento sobre *Drosophila* em um questionário prévio à execução da atividade de ensino desenvolvida.

Na quarta aula, foi trabalhado um texto que apresentou previamente os principais avanços do conhecimento em biologia a partir de diversos estudos realizados com as *D. melsanogaster* como modelo animal para estudos. A apresentação do texto com a síntese dos estudos realizados, seguidos por discussão do mesmo, cumpriu com o papel de motivar os estudantes para a temática proposta na sequência didática, levando-os a perceberem como a utilização de modelos animais viabilizou a construção de conhecimentos científicos em biologia.

Durante a quinta aula, foi trabalhado um texto sobre mutações genéticas com a finalidade de esclarecer como e porque tais mutações ocorrem, como elas são transmitidas ao longo de gerações e quais as consequências para a espécie. Esse estudo de texto, mediado pelo professor, cumpriu com a função de esclarecer dúvidas que não seriam elucidadas somente com a prática prevista na sequência didática, além do mais, a própria prática proposta na sequência didática gerou questionamentos que expuseram a necessidade leituras de textos especializados, a fim de sanar tais dúvidas. De acordo com Goulart *et al*, 2022, o uso de diferentes estratégias de ensino pode cumprir com a função de motivar e oportunizar a resolução de questões originadas durante o processo de aprendizagem.

Na sexta aula dessa sequência, foi proposta a leitura e discussão de texto especializado sobre os insetos e posteriormente foram propostas a realização de duas atividades; uma sobre a análise de imagens didáticas sobre as características dos insetos e uma segunda atividade especificamente sobre a análise de características das *Drosophila*. Os resultados obtidos com a execução dessas atividades evidenciaram que a utilização de imagens anatômicas facilita o processo de aprendizagem. Os resultados obtidos nessa pesquisa foram semelhantes aos resultados obtidos por Silva, Valadares, Mourão 2023, os quais afirmam que 86% dos alunos relacionaram as imagens apresentadas na aula com os conteúdos da disciplina, e 78% dos estudantes relataram que as discussões de forma coletiva em sala ajudaram a relacioná-las com o cotidiano.

Na sétima e oitava aula, os estudantes realizaram a análise, com o auxílio de lupa e de estereomicroscópio, dos resultados obtidos a partir dos cruzamentos feitos com as moscas *Drosophila*, na primeira aula. Além do aspecto motivacional e de achados nessa aula prática de resultados similares aos estabelecidos nas leis mendelianas, ou seja, porcentagem de moscas na Geração F1 com características proporcionais ao estabelecido nas leis mendelianas, os resultados obtidos evidenciaram a compreensão de como as características fenotípicas são transmitidas da Geração Parental aos descendentes via informações gênicas. Os estudantes perceberam, também, como a combinação de determinados genes podem ser letais para o indivíduo. Os resultados obtidos nessa aula estão de acordo com os resultados obtidos por Goulart *et al* 2022, os quais relatam em seu trabalho, a interação e a motivação entre os estudantes ao participarem de aulas práticas explorando o ciclo de vida das moscas *D. melanogaster*. A interação entre os estudantes e a motivação durante as aulas favorece a aprendizagem constituindo-se em estímulo para a busca de conhecimentos relacionadas ao tema, além do que é vivenciado em sala de aula.

Neste estudo, a utilização de *D. melanogaster* contribuiu para despertar o interesse a motivação dos estudantes a fim de compreenderem os mecanismos de transmissão de características fenotípicas ao longo das gerações, estes resultados estão de acordo com os resultados relatados por Rocha *et al*, 2013, que relatam, em seu trabalho, o despertar do interesse dos alunos pela construção do conhecimento a partir da participação em aulas práticas.

De acordo com Moraes, Santos 2016, o envolvimento de aulas práticas com experimentos constitui uma oportunidade para que os alunos relacionem o conteúdo estudado e as conclusões formuladas nas experiências observáveis na prática, e dessa forma construir significados associando teoria e prática consolidando o conhecimento, os resultados desses autores corroboram as observações de intenção e envolvimento dos alunos durante a realização das aulas práticas desenvolvidas com os estudantes durante a realização dessa sequência didática.

A utilização de *D. melanogaster* neste trabalho evidencia o potencial de uso de animais como modelo não apenas para fins de pesquisa científica, mas também como um importante recurso didático capaz de estimular e impulsionar a aprendizagem, esta conclusão também é relatada no trabalho realizado por Sepel, Loreto 2010, ao descreverem o papel desempenhado pelas práticas de ensino envolvendo modelos animais.

A variabilidade de ambientes em que as moscas *D. melanogaste* ovipositam evidencia o surgimento e a manutenção da variabilidade genética ao longo de gerações nesse grupo de animais, conforme relatado por Demczuk, Sepel, Loreto 2007. No presente estudo, também o estudo das moscas, possibilita compreender aspectos da herança de características genética, tais como o surgimento de mutações genicas, a transmissão desses genes mutantes, as características determinadas pelas mutações e sua letalidade em dose dupla.

As abordagens teóricas, a utilização de questionários com atividades, bem como as aulas práticas durante da execução da presente pesquisa foram importantes não apenas para a compreensão dos conceitos em genética, mas também para a motivação dos estudantes nas aulas. Resultados semelhantes foram obtidos por Almeida, Ayub, Nuvoloni 2020 ao relatarem em sua pesquisa o envolvimento dos estudantes em experiências de ensino que combinavam aulas teóricas e práticas, nas quais os estudantes puderam observar, com o auxílio de instrumentos, detalhes anatômicos das partes do corpo dos animais.

Em um estudo realizado com professores, Andrade, Massabni 2011, relatam o entendimento de parte dos professores participantes de sua pesquisa acerca da importância

das aulas práticas como parte de um processo que viabiliza a aprendizagem dos alunos, esta conclusão também é constatada na presente pesquisa. Graffunder *et al*, 2021; Santos, *et al*, 2021, relatam a mudança de concepção dos estudantes sobre os insetos a partir da realização de atividades práticas em que os mesmos tiveram a oportunidade de registrar em seu diário de campo, as observações realizadas em campo, coletarem e confeccionarem uma coleção zoológica.

De acordo com Santos *et al*, 2021, as coleções zoológicas possuem grande relevância científica uma vez que tem potencial para serem utilizadas como instrumento didático capaz de auxiliar o processo de ensino e aprendizagem. Mediante a utilização das coleções zoológicas, é possível realizar estudo de ecologia, biodiversidade, filogenia e evolução das espécies. Em uma abordagem realizada pelos autores envolvendo palestras, exposição de coleções zoológicas e aplicação de questionários constataram o envolvimento e a aprendizagem dos alunos mediante a participação nas atividades, os resultados obtidos pelos autores corroboram os resultados da presente pesquisa sobre a importância do uso de modelos animais em proposições de estudos investigativos para a educação básica.

Conforme Tonini *et al*, 2016, ressaltam os benefícios das aulas práticas com modelos animais de coleções zoológicas de peixes otimizando o processo de aprendizagem. Tais aulas práticas proporcionam motivações e possibilidades investigativas que não são possíveis com as aulas teóricas.

Seiffert Santos, Fachín-Terán, 2013, relatam em pesquisa realizada com professores de Manaus que muitas escolas não possuem espaços adequados para o desenvolvimento de atividades práticas como laboratórios, sendo este o motivo apresentado pelos docentes como um fator que dificulta ou inviabiliza a realização de aulas práticas nas escolas. Na presente pesquisa com *D. melanogaster*, embora a ausência de laboratório não tenha comprometido a realização das aulas práticas, muitas atividades de ensino investigativo em biologia requerem espaços diferentes da sala de aula comum para serem executadas, nesse sentido, cabe aos gestores educacionais viabilizarem a existência de tais espaços sempre que eles forem necessários para a realização das atividades investigativas.

Na presente pesquisa, as mucas das frutas utilizadas como modelo animal constituem um recurso didático importante para serem utilizadas em aulas práticas pelos professores das escolas da educação básica que muitas vezes funcionam ministrando aulas com escassez de recursos didáticos. A relevância da utilização de insetos como modelo animal em aulas práticas e, portanto, com um recurso didático também é evidenciado no trabalho realizado por Wegener *et al*, 2016, os quais relatam a importância da distribuição de caixas

entomológicas em escolas da rede pública no Rio Grande do Sul para serem utilizadas em aulas práticas como recurso didático.

10. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao observar as respostas dos alunos nas atividades desenvolvidas durante a realização da sequência didática e porcentagens de acerto das mesmas, foi possível perceber que os estudantes compreenderam como as características são transmitidas ao longo das gerações, ou seja, como as mutações genéticas do cromossomo II e III de *D. melanogaster* se segregam independente durante a formação dos gametas na Geração Parental e produzem características fenotípicas que se combinam de diferentes maneiras nos indivíduos da Geração F1 em comparação às características fenotípicas da Geração Parental que os originou.

As aulas envolvendo atividades práticas experimentais constituem uma grande oportunidade para que os alunos estabeleçam uma relação entre o conteúdo a ser estudado e as experiências observáveis na prática, e assim estabelecer significados indissociáveis entre teoria e prática consolidando a aprendizagem.

Em geral, os resultados foram satisfatórios, visto que despertaram a curiosidade dos estudantes envolvendo-os, proporcionando aprendizado e evidenciando novas possibilidades metodológicas para desenvolver práticas de ensino mais dinâmicas e com maior potencial de promover aprendizagem.

Aproximar da realidade educacional, práticas de ensino que estimulem a construção do conhecimento científico, contribui para a formação crítica dos alunos, tornando-os capazes de compreender a importância de superar concepções empíricas em favor do conhecimento científico sistematizado, além de torná-los potenciais multiplicadores de tais conhecimentos.

Cabe aos professores planejarem práticas de ensino investigativas e aos gestores educacionais, cabe pensarem meios que viabilizem a utilização de aulas práticas nos currículos de biologia da educação básica, quando a proposta de ensino por investigação demandar condições materiais, além do entendimento teórico de como propor tal atividade. Uma proposta de ensino investigativo se diferencia de uma simples atividade prática, limitada a execução de etapas de uma atividade de laboratório que muitas vezes apenas reforça a memorização, sem a devida compreensão do que está sendo realizado e, portanto, sem contribuir para a aprendizagem esperada.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M. G. R.; AYUB, C. L. S. C.; NUVOLONI, F. M. Tecendo conhecimento sobre a ordem Araneae com os alunos do 7º ano de uma escola pública de Ponta Grossa – PR. **R. bras. Ens. Ci. Tecnol.**, Ponta Grossa, v. 113, n. 1, p. 382-399, 2020.

ANDRADE, M. L. F.; MASSABNI, V. G. O desenvolvimento de atividades práticas na escola: um desafio para os professores de ciências. **Ciência & Educação**, Campinas, v. 17, n. 4, p. 835-854, 2011.

BASTOS JÚNIOR, Pedro de Souza. **Metodologias es estratégias utilizadas para o ensino de zoologia**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Ciências Naturais)-Faculdade UnB, Planaltina, 2013.

BUENO, G. M. G. B.; FARIAS, S. A.; FERREIRA, L. H. Concepções de ensino de Ciências no início do século XX: o olhar do educador alemão Georg Kerschensteiner. **Ciência e Educação**, Bauru, v. 18, n° 2, p. 435-450, 2012.

DEMCZUK, O. M.; SEPEL, L. M. N e LORETO, E. L. S. Investigação das concepções espontâneas referentes a ciclo de vida e suas implicações para o ensino nas séries iniciais. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, Pontevedra, Espanha, v. 6 n° 1, p. 117-128, 2007.

GOULART, A. S.; KIELING, K. M. C.; VIÇOSA, C. S. C. L.; SALGUEIRO, A. C. F.; FOLMER, V. Ensino de ciências a partir da problematização: percepções de educandos acerca do ciclo de vida da *Drosophila melanogaster*. **Research, Society and Development**, Vargem Grande Paulista, v. 11, n. 2, p. 1-13, 2022.

GRAFFUNDER, K. G.; CAMILLO, C. M.; PIRES, F. L. B. MÜLLER, G. A. Coleção Zoológica: uma abordagem científica para o ensino sobre artrópodes em uma escola pública do interior do Rio Grande do Sul, Brasil. **Research, Society and Development**, Vargem Grande Paulista, v. 10, n. 7, p. 1-10, 2021.

KRASILCHIK, M. Reformas e realidade o caso do ensino das ciências. **Revista São Paulo em Perspectiva**, São Paulo, v. 14, n° 1, p. 85-93, 2000.

LOPES, W. R. VASCONCELOS, S. D. Representação e distorções conceituais do conteúdo “filogenia” em livros didáticos de biologia do ensino médio. **Revista Ensaio**, Belo Horizonte, v.14, n. 03, p. 149-165, 2012.

MATIAS, A. S.; SILVA, A. F.; RIBEIRO, J. M.; SANTOS, S. C. “Fofocando” sobre drosófilas nas redes sociais. **Genética na Escola**, São Paulo, v. 10, n. 2, p. 140-147, 2015.

MORAIS, V. C. S.; SANTOS, A. B. Implicações do uso de atividades experimentais no ensino de biologia na escola pública. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 21, n. 1, p. 166-181, 2016.

MOTOKANE, M. T. Sequências didáticas investigativas e argumentação no ensino de ecologia. **Revista Ensaio**, Belo Horizonte, v.17 n. especial | p. 115-137, 2015.

NARDI, R. Memórias do ensino de ciências no Brasil: a constituição da área segundo pesquisadores brasileiros, origens e avanços da pós-graduação. **Revista do Imea**, Foz de Iguaçu, v. 2, n. 2, p. 13-46, 2014.

NASCIMENTO, F.; FERNANDES, H. L.; MENDONÇA, V. M. O ensino de ciências no Brasil: história, formação de professores e desafios atuais. **Revista HISTEDBR On-line**, Campinas, n. 39, p. 225-249, 2010.

OLIVEIRA, Renata. Portugal. **Evolução biológica: uma proposta de construção do conhecimento em uma turma de ensino médio**. 2015. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática) - Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2015.

RIBEIRO, M. V.; ARCANJO, M. D. T. Currículo de biologia no ensino médio: a importância da inserção da sistemática filogenética para a compreensão do conteúdo de zoologia. **Experiências em Ensino de Ciências**. Cuiabá, v.13, n.º.1, p. 252-258, 2018.

RIBEIRO, L. S.; MOTA, M. D. A.; LEITE, R. C. M. História da educação científica: revisando aspectos e construindo perspectivas. **Revista Educar Mais**, Bento Gonçalves, v. 5 n.º 2, p. 198-216, 2021.

ROCHA, L. D. L. S.; FARIA, J. C. N. M.; CRUZ, A. H. S.; REIS, A. A. S.; SANTOS, R. S. *Drosophila*: um importante modelo biológico para a pesquisa e o ensino de genética. **Scire Salutis**. Aquidabã, v. 3, n. 1, p. 37-48, 2013.

RODRIGUES, M. E.; JUSTINA, L. A. D.; MEGLHIORATTI, F. A. O conteúdo de sistemática e filogenética em livros didáticos do ensino médio. **Rev. Ensaio**, Belo Horizonte, v.13, n.02, p.65-84, 2011.

SALÃO INTERNACIONAL DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO – SIEPE, 10, 2018, Santana do Livramento. **Anais [...]**. Santana do Livramento: Universidade Federal do Pampa, 2018. 7 p. Tema: Conhecendo a *Drosophila melanogaster* a partir metodologia da resolução de problemas.

SANTOS, C. M. D. CALOR, A. R. Ensino de biologia evolutiva utilizando a estrutura conceitual da sistemática filogenética – I. **Ciência & Ensino**, Piracicaba, v. 1, n. 2, p.01-08, 2007.

SANTOS, P. R. C.; SILVA, J. O. A.; ARAGÃO, V. L.; ROCHA, M. F. C. NASCIMENTO, R. F. O. Coleção didática zoológica: divulgação científica e auxílio para o ensino e aprendizagem de ciências. **Experiências em Ensino de Ciências**, Cuiabá, v.16, n.1, p. 2021.

SANTOS, S. C. S.; FACHÍN-TERÁN, A. O planejamento do ensino de zoologia a partir das concepções dos profissionais da educação municipais em Manaus-Amazonas, Brasil **Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias**, Buenos Aires, v. 8, n. 2, p. 1-12, 2013.

SASSERON, L. H. Alfabetização científica, ensino por investigação e argumentação: relações entre ciências da natureza e escola. **Revista Ensaio**, Belo Horizonte, v.17, n. especial | p. 49-67, 2015.

SCARPA, D. L.; CAMPOS, N. F. Potencialidades do ensino de biologia por investigação. **ESTUDOS AVANÇADOS**, São Paulo, v. 32, n. 94, 2018.

SEPEL, L. M. N., LORETO, E. L. S. Um século de *Drosophila* na genética. **Genética na Escola**, São Paulo, v. 5, n. 2, p. 42-47, 2010.

SILVA, R. R.; VALADARES J. M.; MOURÃO, R. P. O uso de imagens como ferramenta educacional nas aulas de ciências. **Revista Multidisciplinar de Educação e Meio Ambiente**, Fortaleza, v. 4, nº 3, p. 2023.

Souza; Rocha. Sistemática filogenética em revista de divulgação científica: análise da Scientific American Brasil. **ALEXANDRIA Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, Florianópolis, v.8, n.1, p.75-99, 2015.

TONINI, L.; SARMENTO-SOARES, L. M.; ROLDI, M. M. C.; LOPES, M. M. A coleção didática de peixes no Instituto Nacional da Mata Atlântica (INMA), Santa Teresa, Espírito Santo, Brasil: subsídios para o ensino de zoologia. **Bol. Mus. Biol. Mello Leitão**, Santa Teresa, v.38, n. 4, p. 347-362, 2016.

VASCONCELOS, F. T. G. R.; CARVALHO, L. M. L.; SOUZA, L. S.; BARBOSA, I. N.; DÁVILA, C. K.; ZATZ, M.; VAINZOF, M. Modelos animais no estudo de doenças genéticas humanas. **Genética na Escola**, São Paulo, v. 17, n. 1, p. 26-40, 2022.

WEGENER, M. K.; WESNER, C. W.; MORAES, G. P.; MULLER, G. A. Scientific communication about the distribution of insect boxes in schools: report on experience. **R. Eletr. de Extensão**, Florianópolis, v. 13, n. 24, p.198-203, 2016.

ZABALA, A. Prática educativa: como ensinar. Porto Alegre: ARTMED, 1998. 224p.

APÊNDICE A— Resposta padrão ao questionário da atividade para verificação dos conhecimentos prévios dos estudantes.

1. Sobre os insetos, a qual classe eles pertencem? Os insetos pertencem a classe *insecta*.

2. Em quantas partes o corpo dos insetos é dividido? Quais são elas? O corpo dos insetos é dividido em três partes: cabeça, tórax e abdômen.

3. Quantos pares de pernas há nos insetos? Os insetos possuem três pares de pernas.

4. Quantos pares de antenas há nos insetos? Os insetos possuem um par de antenas.

5. As asas sempre estão presentes nos insetos? As asas nem sempre estão presentes nos insetos, em algumas fases da vida alguns grupos de insetos podem perder as asas, exemplo as formigas.

6. O que são mutações genéticas? Mutações gênicas são alterações no código de bases nitrogenadas do DNA responsáveis pelo surgimento de novas características, dentro das espécies.

7. Há diferença entre genótipo e fenótipo? Qual? Sim. O genótipo é o componente genético formado pelo conjunto de alelos presentes nas células de um indivíduo, que foram herdados de seus pais. O fenótipo é o conjunto de características observáveis ou que podem ser mensuradas de um indivíduo, como as características físicas, bioquímicas, fisiológicas e comportamentais.

8. Como um fenótipo surge em um indivíduo de uma espécie? O fenótipo é resultado da expressão dos alelos que constituem o genótipo do indivíduo, porém algumas características além de determinantes genéticos, sofrem também influência do meio ambiente, isto ocorre porque a expressão dos genes pode ser influenciada pelo ambiente.

9. Um fenótipo pode ser transmitido para os descendentes? De qual maneira isso ocorre? As características físicas, bioquímicas, fisiológicas e comportamentais (fenótipos) são herdadas por meio da transmissão dos genes ao longo das gerações.

Resposta padrão ao questionário da atividade 2.

1ª questão: Quais são as diferenças fenotípicas entre macho e fêmea de *D. Melanogaster*?

O macho apresenta a extremidade do abdômen mais arredondada em comparação com a extremidade do abdômen da fêmea que apresenta formato mais pontiagudo. O abdômen do macho é mais escuro do que o abdômen da fêmea. O macho ainda apresenta

cerdas na região intermediária da perna, essas cerdas não estão presentes na região intermediária das pernas das fêmeas.

2ª questão: Qual é a diferença fenotípica entre o tipo selvagem e o portador da mutação Scutoid? O tipo selvagem apresenta quatro cerdas na região Scutoid, já o portador da mutação Scutoid pode apresentar três, duas, uma ou nenhuma cerda na região Scutoid.

3ª questão: Qual é a diferença fenotípica entre o tipo selvagem e o portador da mutação curly (CYO)? O tipo selvagem apresenta asas curvadas para cima enquanto o portador da mutação CYO apresenta asas não curvadas para cima, mas paralelas ao corpo.

4ª questão: Qual é a diferença fenotípica entre o tipo selvagem e o portador da mutação MKRS? O tipo selvagem apresenta cerdas mais finas e mais longas na região dorsal do tórax, em comparação com o portador da mutação MKRS que apresenta cerdas mais curtas e mais grossas na mesma região.

5ª questão: Qual é a diferença fenotípica entre o tipo selvagem e o portador da mutação TM6B? O tipo selvagem apresenta duas ou três cerdas na região umeral, já o portador da mutação TM6B apresenta um tufo de elos na região umeral.

Resposta padrão ao questionário da atividade 3, aos a aplicação da sequência didática

1. As características presentes na Geração Parental apareceram na Geração F1? Por que isso aconteceu? Sim, porque são transmitidas dos pais aos descendentes através dos genes presentes nos gametas.

2. Os indivíduos da geração F1 possuem as mesmas combinações de características que os indivíduos da Geração Parental? Não, por causa da segregação independente dos alelos gênicos durante a formação dos gametas na Geração Parental e recombinação ao acaso, na ocasião da fecundação, há combinações diferentes de alelos que resultam em características diferentes na geração F1, daquelas observadas na Geração Parental.

2. Como se explica a combinação de características presente nos indivíduos da geração F1?

A segregação independente dos alelos gênicos durante a formação dos gametas na Geração Parental e recombinação ao acaso, na ocasião da fecundação, há combinações diferentes de alelos que resultam em características diferentes na geração F1, daquelas observadas na Geração Parental.

APÊNDICE B — PROPOSTA DE ROTEIRO DE AULA PARA O PROFESSOR (SEQUÊNCIA DIDÁTICA), ADAPTADA PARA SER REALIZADA EM QUATRO AULAS TEMA: ENSINO DE MUTAÇÕES GÊNICAS E HERANÇA DE GENÉTICA CLÁSSICA A PARTIR DE ATIVIDADES INVESTIGATIVAS BASEADAS EM UM MODELO ANIMAL: *Drosophila melanogaster*

Nesse roteiro de aula, o professor trabalhará com seus alunos, conceitos de mutação genética e herança genética mendeliana mediante abordagem investigativa em aulas teóricas e práticas com *Drosophila melanogaster* (moscas das frutas).

Objetivos para essa sequência didática

Realizar cruzamentos entre *Drosophila melanogaster* com as mutações Sco/CYO x *Drosophila melanogaster* tipo selvagem +/+ e avaliar a progênie com os estudantes relacionando a transmissão dessas características mutantes com a 2ª Lei de Mendel;

Realizar cruzamentos entre *Drosophila melanogaster* com as mutações Sco/CYO x *Drosophila melanogaster* Sco/CYO; *Drosophila melanogaster* com as mutações MKRS/TM6B x *Drosophila melanogaster* com as mutações MKRS/TM6B e avaliar a progênie com os estudantes relacionando a transmissão dessas características mutantes com a 2ª Lei de Mendel e a ocorrência de letalidade;

Descrever as características fenotípicas resultantes do cruzamento realizados com *Drosophila melanogaster*;

Compreender como as características fenotípicas surgem em um indivíduo e como são transmitidas ao longo das gerações;

Conhecer as características dos insetos e relacioná-las a sua classificação.

A presente sequência didática apresenta uma sequência de atividades que tem como finalidade instigar os alunos a responderem à questão motivadora que se segue abaixo. Ao responderem à questão mediante a realização das atividades propostas nessa sequência, espera-se que os objetivos elencados, visando uma melhor compreensão de genética, sejam atingidos.

Como as mutações genéticas são transmitidas ao longo das gerações e como produzem características fenotípicas em um indivíduo?

1ª aula (50 minutos)

Orientações para o professor: nessa aula, o professor apresentará, aos estudantes, a questão investigativa, proporá a formulação de hipóteses, estabelecerá junto com estudantes, os cruzamentos da Geração Parental colocando as moscas com as

características desejadas para o estudo, dentro dos vials para que se reproduzam e deem origem a Geração F1 que será analisada na sétima e oitava aula dessa sequência didática.

O conteúdo dessa aula abordará a 2ª Lei de Mendel (transmissão de duas ou mais características ao mesmo tempo). Os estudantes farão a análise no estereomicroscópio dos indivíduos da Geração Parental, portadores das mutações que foram escolhidas para serem estudadas (Sco/CYO x +/+); (Sco/CYO x Sco/CYO) e que ao serem cruzados, originarão nos indivíduos da Geração F1, as características fenotípicas que serão analisadas no estereomicroscópio e discutidas na 6ª aula.

2ª aula (50 minutos)

Orientações para o professor: o conteúdo dessa aula abordará o conceito de mutações genéticas. Nessa aula, professor deverá disponibilizar para os alunos, o texto que se segue abaixo, sobre mutações genéticas, a fim de que possam compreender o referido conceito. Após a leitura do texto, feita pelos alunos, o professor deverá dialogar com seus estudantes, sobre as informações contidas no mesmo.

Mutações Gênicas: Definição e Importância

Ao imaginarmos o DNA pensamos muitas vezes em uma molécula estável e de replicação extremamente eficiente. No entanto, um olhar mais atento nos mostrará que, por vezes, algumas sequências de nucleotídeos desta incrível molécula da vida podem ser alteradas de forma natural ou não, processo que chamamos de mutação gênica.

Mutações gênicas são modificações nos nucleotídeos de DNA (A, T, C e G) de um organismo. É o processo pelo qual os genes mudam de uma forma alélica para outra, portanto, as mutações são consideradas fonte de variabilidade genética. Embora a maioria das mudanças no DNA leve a efeitos ruins, a mutação gênica é vital para a evolução. Caso não ocorresse mutação, o material genético primordial ainda estaria igual e, possivelmente, ainda seríamos bactérias primitivas. A mutação fornece novas combinações genéticas, sendo a matéria prima para a evolução. É sobre a variabilidade gerada pelas mutações e pela recombinação que opera a seleção natural, permitindo que as populações evoluam e se adaptem aos mais diversos tipos de ambientes. Embora as mutações sejam muito importantes para a adaptação e evolução das populações e espécies, devemos ter em mente que estas não ocorrem para benefício de um organismo em uma determinada situação. As mutações simplesmente ocorrem e são filtradas pela seleção natural, de modo que permanecem apenas as adaptativas.

Como Surgem as Mutações?

Dependendo da sua origem, as mutações gênicas podem ser classificadas como espontâneas ou induzidas. Mutações espontâneas são aquelas que ocorrem naturalmente, sem uma causa aparente. As mutações induzidas são aquelas que aparecem em decorrência da utilização de agentes mutagênicos.

Entre as mutações espontâneas podemos citar a depurinação e a desaminação. No primeiro caso uma base púrica (A ou G) de um nucleotídeo é perdida, gerando um sítio apurínico. Assim, durante a replicação do DNA, esse sítio não pode atuar como molde na formação da fita complementar. Como consequência, um nucleotídeo qualquer é incorporado como complementar ao sítio apurínico, geralmente ocorrendo a incorporação de uma adenina. A desaminação consiste na perda de um grupo amino (NH₂) de uma base nitrogenada. Essa modificação química altera o padrão de pareamento, por exemplo, a desaminação da citosina faz com que ela se comporte como uma uracila e forme par com a adenina durante a replicação.

Uma mutação pode ser induzida por análogos de bases. Estas são substâncias que tem uma estrutura química similar a uma das bases nitrogenadas do DNA. Devido a tal similaridade, a DNA polimerase não consegue distinguir entre a base correta do DNA e o análogo, podendo incorporar erroneamente este último durante a replicação do DNA. Um exemplo de análogo de bases é o 5- bromouracil (5BU), um análogo da timina, que pode ser incorporado em seu lugar durante a replicação. O análogo normalmente parecia com a adenina, mas às vezes pode parear com a guanina levando a erros nas replicações que seguem a sua incorporação.

As mutações também podem ser induzidas pelos chamados agentes alquilantes. Estas substâncias doam grupos alquila metil (CH₃) e etil (CH₃-CH₂) para as bases nitrogenadas, modificando seus padrões naturais de pareamento durante a replicação do DNA. Um exemplo de substância alquilante é o etilmetilsulfonato (EMS), o qual doa um grupo etil para a guanina, de modo que esta forma par com timina. O EMS também adiciona um grupamento etil na timina, provocando o seu pareamento com a guanina.

A desaminação pode ocorrer de forma espontânea, como dito anteriormente, ou ser induzida. Algumas substâncias produzem desaminação, um exemplo é o ácido nitroso que desamina a citosina convertendo-a em uracila. Durante a replicação esta uracila pareará com a adenina. O ácido nitroso também desamina a guanina, produzindo um nucleotídeo com a base xantina, o qual pode parear com a timina.

Outra substância que induz mutações é a Hidroxilamina, responsável por adicionar grupos hidroxila às citosinas. Esta alteração química produz uma estrutura rara da citosina, de modo que durante a replicação esta pareia com a adenina.

Outras substâncias que ocasionam mutações são os agentes intercalantes, os quais se intercalam dentro da dupla fita de DNA, causando inserções e deleções. Exemplos de substâncias intercalantes são a proflavina, a acridina laranja, a dioxina e o brometo de etídio.

As mutações também podem ser geradas por radiações, exemplos são os raios X, que podem quebrar o DNA em fita simples ou dupla e a luz ultravioleta, que pode promover a formação de dímeros de pirimidinas (pareamento de timina-timina, citosina- citosina ou timinacitosina). Esses dímeros distorcem a dupla fita de DNA e bloqueiam a replicação até serem consertados pelos mecanismos de reparo.

Onde Ocorrem as Mutações?

Nos organismos multicelulares podemos encontrar dois grandes tipos de células, as somáticas e as gaméticas (germinativas). As primeiras apresentam a mitose como mecanismo de divisão celular, já as células germinativas se dividem, principalmente, por meiose. Desta forma, dependendo do tipo celular onde ocorrem, podemos classificar as mutações em somáticas e gaméticas. Assim, as mutações somáticas são as que ocorrem nas células somáticas e se espalham por mitose em um organismo. Este tipo de mutação é importante porque pode desencadear o câncer. As mutações gaméticas surgem nas células que originam gametas e podem ser transmitidas, podendo se expressar na linhagem somática da próxima geração. Desta forma, as mutações em células germinativas são muito importantes para a evolução.

Como se Classificam as Mutações?

Em relação a sua natureza molecular podemos classificar as mutações em substituições, inserções e deleções. As substituições consistem na troca de um nucleotídeo por outro. Podem ser de dois tipos: Transições ou Transversões. Nas transições uma purina é trocada por outra purina, ou uma pirimidina por outra pirimidina. Nas transversões uma purina é trocada por uma pirimidina ou vice-versa.

As inserções e deleções consistem na adição ou deleção de um ou alguns nucleotídeos. O principal problema desses tipos de mudanças é que afetam a matriz de leitura. Os nucleotídeos do RNA mensageiro são lidos de três em três durante a tradução. Quando adicionamos ou deletamos nucleotídeos a matriz de leitura muda do ponto da adição ou deleção até o códon de parada. Assim, este tipo de mutação poderá mudar a

sequência de aminoácidos desde o ponto onde ocorre a mutação até o códon de parada da tradução. Caso a inserção ou deleção for de três, ou múltiplos de três nucleotídeos, a mudança será menor, podendo afetar somente os códons que perderam ou ganharam nucleotídeos, mas não se estenderá até o códon de parada da tradução.

As mutações ocorrem ao nível molecular e nem sempre apresentam efeitos fenotípicos. Quando não ocorre mudança no fenótipo, a mutação causa apenas uma alteração no nucleotídeo e não gera uma mudança no aminoácido da proteína. Isso se deve ao fato de que vários aminoácidos são codificados por mais de um códon (código genético degenerado). As mutações que mudam os nucleotídeos e não mudam o aminoácido são chamadas de silenciosas. A seguir as mutações serão classificadas de acordo com suas consequências sobre o fenótipo.

O efeito fenotípico da mutação é observado na comparação de um indivíduo mutante com outro indivíduo sem a mutação, chamado de selvagem (Figura 1). Quando observamos que o fenótipo mutante é diferente do selvagem a mutação é chamada de direta. Às vezes o mutante muda novamente e restaura o fenótipo selvagem. Neste caso a nova mutação recupera o nucleotídeo original e restaura o mesmo aminoácido. Há também as mutações supressoras, neste caso a mudança não reverte o estado molecular selvagem, mas esconde ou suprime o efeito fenotípico da mutação direta. A mutação supressora não anula o que aconteceu na primeira mutação, mas, devido a uma segunda mutação, os efeitos da primeira são anulados.

Figura 1 — *Drosophila melanogaster*. Mosca com fenótipo selvagem.



Fonte: Imagens do Atlas of Drosophila Morphology

As mutações de substituição também podem ter um efeito fenotípico se causarem mudanças no aminoácido, sendo chamadas de mutações não silenciosas (Tabela 1). Às vezes o novo aminoácido não afeta a função da proteína, nesse caso a substituição não silenciosa é considerada neutra. Outras vezes a mutação não silenciosa leva a perda da função da proteína, nesse caso a mutação é chamada de perda de função. Há também

mutações não silenciosas onde é gerada uma nova função para um gene, são as mutações de ganho de função.

A mudança de nucleotídeo também pode originar um códon de parada antes do observado na forma selvagem, nesse caso essa substituição é chamada de mutação de parada (Figura 5).

Outras mutações com efeito fenotípico são as condicionais, nas quais o fenótipo mutante aparece em determinadas condições, por exemplo, a temperaturas acima de 28°C ocorre o fenótipo mutante, mas abaixo dessa temperatura se expressa o fenótipo selvagem.

Finalmente, temos as mutações letais, onde o indivíduo não nasce devido à presença de uma mutação.

(Texto retirado do livro *Genética Geral Para Universitários*, editora universitária da UFRPE, 1ª edição, 2015).

4ª aula (50 minutos)

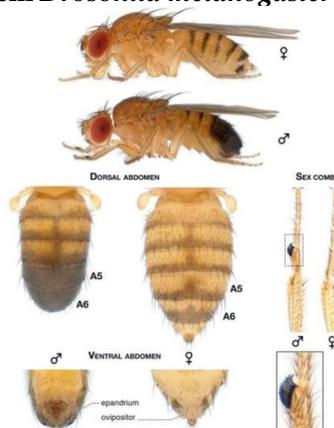
Orientações para o professor: nessa aula, serão trabalhadas as características fenotípicas da *Drosophila melanogaster*. Os estudantes deverão observar as imagens e responder ao questionário acerca das características fenotípicas que caracterizam as moscas *Drosophila melanogaster*. O professor deverá dialogar com os estudantes e orientar os alunos durante a realização da atividade esclarecendo eventuais dúvidas.

Atividade 1

Nesta atividade, os estudantes observarão diversas imagens, a fim de diferenciar o gênero, macho e fêmea comparar o fenótipo selvagem com os fenótipos mutantes (Sco/CyO; MKRS/TM6B) que serão trabalhados na aula prática.

Observe a imagem a baixo.

Figura 2 — Dimorfismo sexual em *Drosophila melanogaster*

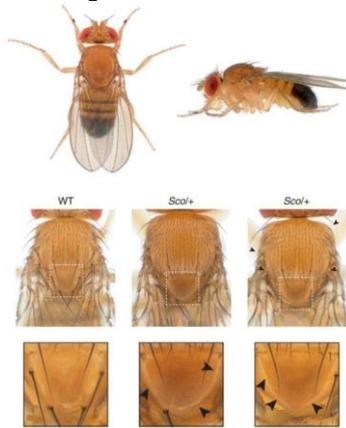


Fonte: Imagens do Atlas of *Drosophila* Morphology.

1ª questão: Quais são as diferenças fenotípicas entre macho e fêmea

Observe a imagem abaixo:

Figura 3 — *Scutoid* tipo selvagem com quarto cerdas e *Scutoid* com a mutação *Sco* sem cerdas.

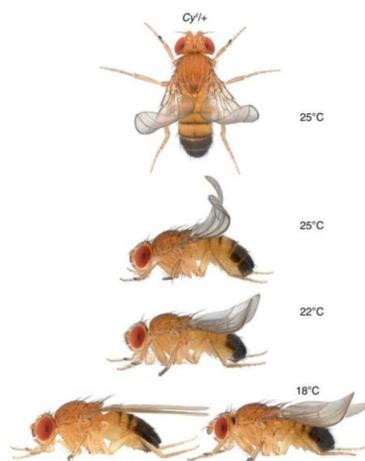


Fonte: Imagens do Atlas of Drosophila Morphology.

2ª questão: Qual é a diferença fenotípica entre o tipo selvagem e o portador da mutação *scutoid*?

Observe a imagem abaixo:

Figura 4 — *Drosophila melanogaster* mostrando as diferenças fenotípicas entre o tipo selvagem e o portador do fenótipo *CYO* que apresenta asas curvas em comparação ao tipo selvagem com asas retas.



Fonte: Imagens do Atlas of Drosophila Morphology.

3ª questão: Qual é a diferença fenotípica entre o tipo selvagem e o portador da mutação *curly* (*CYO*)?

4ª aula (50 minutos)

Orientações para o professor: o professor deverá preparar o material que será utilizado nessa aula e orientar os estudantes sobre como manusear o estereomicroscópio para que identifiquem as características fenotípicas que deverão ser observadas nas moscas. É importante que o professor auxilie e verifique se os estudantes estão conseguindo observar e identificar as características fenotípicas escolhidas para trabalhar nessa aula prática. Esse conteúdo abordará a 2ª Lei de Mendel (transmissão de duas ou mais características ao mesmo tempo). Os estudantes farão a análise, no estereomicroscópio, dos indivíduos da Geração F1, portadores das mutações que foram escolhidas para serem estudadas (Sco/CYO x +/+); (Sco/CYO x Sco/CYO) e que ao serem cruzados, originaram nos indivíduos da Geração F1, as características fenotípicas que serão analisadas no estereomicroscópio e discutidas nessa 6ª aula. Os resultados esperados são os seguintes: (ver quadro de Punnett). Após a análise das características escolhidas e trabalhadas na 6ª e 7ª aula, os estudantes deverão responder a um questionário cujas respostas dos estudantes possibilitarão ao professor avaliar o nível de compreensão dos estudantes sobre o assunto. É importante também que o professor observe o nível de interesse e engajamento dos estudantes durante a realização das atividades previstas nas sete aulas dessa sequência de atividades. O envolvimento dos alunos na realização das atividades permitirá uma avaliação qualitativa das atividades propostas.

Quadro 1 — Genótipo 2/4 ou 50% Sco/+ Genótipo 2/4 ou 50% CYO/+ Fenótipo 2/4 ou 50% Sco Fenótipo 2/4 ou 50% CYO

♂ / ♀	Sco	CYO
+	Sco/+	CYO/+
+	Sco/+	CYO/+

Fonte: O autor (2024).

Quadro 2 — Genótipo Sco/+Sco 1/4 ou 25% letal Genótipo CYO/CYO ¼ ou 25% letal e fenótipo Genótipo Sco/CYO 2/2 ou 100% Fenótipo 100% Sco/CYO

♂ / ♀	Sco	CYO
+	Sco/Sco	Sco/CYO
+	Sco/CYO	CYO/CYO

Fonte: O autor (2024).

Espera-se que essa sequência de quatro aulas motive os estudantes a aprofundarem os estudos mediante pesquisas e que seja possível perceber como as características são transmitidas ao longo das gerações, ou seja, como as mutações genéticas do cromossomo II de *D. melanogaster* se segregam independentemente durante a formação dos gametas na Geração Parental e produzem características fenotípicas que se combinam de diferentes maneiras nos indivíduos da Geração F1 em comparação às características fenotípicas da Geração Parental que os originou.

APÊNDICE C — PROPOSTA DE ROTEIRO DE AULA PARA O ALUNO (SEQUÊNCIA DIDÁTICA), ADAPTADA PARA SER REALIZADA EM QUATRO AULAS TEMA: ENSINO DE MUTAÇÕES GÊNICAS E HERANÇA DE GENÉTICA CLÁSSICA A PARTIR DE ATIVIDADES INVESTIGATIVAS BASEADAS EM UM MODELO ANIMAL: *Drosophila melanogaster*

Nesse roteiro de aula, o professor trabalhará com seus alunos, conceitos de mutação genética e herança genética mendeliana mediante abordagem investigativa em aulas teóricas e práticas com *Drosophila melanogaster* (moscas das frutas).

Objetivos para essa sequência didática

Realizar cruzamentos entre *Drosophila melanogaster* com as mutações Sco/CYO x *Drosophila melanogaster* tipo selvagem +/- e avaliar a progênie com os estudantes relacionando a transmissão dessas características mutantes com a 2ª Lei de Mendel;

Realizar cruzamentos entre *Drosophila melanogaster* com as mutações Sco/CYO x *Drosophila melanogaster* Sco/CYO; *Drosophila melanogaster* com as mutações MKRS/TM6B x *Drosophila melanogaster* com as mutações MKRS/TM6B e avaliar a progênie com os estudantes relacionando a transmissão dessas características mutantes com a 2ª Lei de Mendel e a ocorrência de letalidade;

Descrever as características fenotípicas resultantes do cruzamento realizados com *Drosophila melanogaster*;

Compreender como as características fenotípicas surgem em um indivíduo e como são transmitidas ao longo das gerações;

Conhecer as características dos insetos e relacioná-las a sua classificação.

A presente sequência didática apresenta uma sequência de atividades que tem como finalidade instigar os alunos a responderem à questão motivadora que se segue abaixo. Ao responderem à questão mediante a realização das atividades propostas nessa sequência,

espera-se que os objetivos elencados, visando uma melhor compreensão de genética, sejam atingidos.

Como as mutações genéticas são transmitidas ao longo das gerações e como produzem características fenotípicas em um indivíduo?

1ª aula (50 minutos)

Os estudantes terão acesso a questão investigativa e formularão hipóteses a fim de respondê-la. Os estudantes, com orientação do professor estabelecerão os cruzamentos da Geração Parental, colocando as moscas com as características desejadas para o estudo, dentro dos vials para que se reproduzam e deem origem a Geração F1 que será analisada na quarta aula dessa sequência didática.

O conteúdo dessa aula abordará a 2ª Lei de Mendel (transmissão de duas ou mais características ao mesmo tempo). Os estudantes farão a análise no estereomicroscópio dos indivíduos da Geração Parental, portadores das mutações que foram escolhidas para serem estudadas (Sco/CYO x +/+); (Sco/CYO x Sco/CYO) e que ao serem cruzados, originarão nos indivíduos da Geração F1, as características fenotípicas que serão analisadas no estereomicroscópio e discutidas na 6ª aula.

2ª aula (50 minutos)

Mutações Gênicas: Definição e Importância

Ao imaginarmos o DNA pensamos muitas vezes em uma molécula estável e de replicação extremamente eficiente. No entanto, um olhar mais atento nos mostrará que, por vezes, algumas sequências de nucleotídeos desta incrível molécula da vida podem ser alteradas de forma natural ou não, processo que chamamos de mutação gênica.

Mutações gênicas são modificações nos nucleotídeos de DNA (A, T, C e G) de um organismo. É o processo pelo qual os genes mudam de uma forma alélica para outra, portanto, as mutações são consideradas fonte de variabilidade genética. Embora a maioria das mudanças no DNA leve a efeitos ruins, a mutação gênica é vital para a evolução. Caso não ocorresse mutação, o material genético primordial ainda estaria igual e, possivelmente, ainda seríamos bactérias primitivas. A mutação fornece novas combinações genéticas, sendo a matéria prima para a evolução. É sobre a variabilidade gerada pelas mutações e pela recombinação que opera a seleção natural, permitindo que as populações evoluam e se adaptem aos mais diversos tipos de ambientes. Embora as mutações sejam muito importantes para a adaptação e evolução das populações e espécies, devemos ter em mente que estas não ocorrem para benefício de um organismo em uma determinada situação. As

mutações simplesmente ocorrem e são filtradas pela seleção natural, de modo que permanecem apenas as adaptativas.

Como Surgem as Mutações?

Dependendo da sua origem, as mutações gênicas podem ser classificadas como espontâneas ou induzidas. Mutações espontâneas são aquelas que ocorrem naturalmente, sem uma causa aparente. As mutações induzidas são aquelas que aparecem em decorrência da utilização de agentes mutagênicos.

Entre as mutações espontâneas podemos citar a depurinação e a desaminação. No primeiro caso uma base púrica (A ou G) de um nucleotídeo é perdida, gerando um sítio apurínico. Assim, durante a replicação do DNA, esse sítio não pode atuar como molde na formação da fita complementar. Como consequência, um nucleotídeo qualquer é incorporado como complementar ao sítio apurínico, geralmente ocorrendo a incorporação de uma adenina. A desaminação consiste na perda de um grupo amina (NH_2) de uma base nitrogenada. Essa modificação química altera o padrão de pareamento, por exemplo, a desaminação da citosina faz com que ela se comporte como uma uracila e forme par com a adenina durante a replicação.

Uma mutação pode ser induzida por análogos de bases. Estas são substâncias que tem uma estrutura química similar a uma das bases nitrogenadas do DNA. Devido a tal similaridade, a DNA polimerase não consegue distinguir entre a base correta do DNA e o análogo, podendo incorporar erroneamente este último durante a replicação do DNA. Um exemplo de análogo de bases é o 5- bromouracil (5BU), um análogo da timina, que pode ser incorporado em seu lugar durante a replicação. O análogo normalmente parecia com a adenina, mas às vezes pode parear com a guanina levando a erros nas replicações que seguem a sua incorporação.

As mutações também podem ser induzidas pelos chamados agentes alquilantes. Estas substâncias doam grupos alquila metil (CH_3) e etil ($\text{CH}_3\text{-CH}_2$) para as bases nitrogenadas, modificando seus padrões naturais de pareamento durante a replicação do DNA. Um exemplo de substância alquilante é o etilmetilsulfonato (EMS), o qual doa um grupo etil para a guanina, de modo que esta forma par com timina. O EMS também adiciona um grupamento etil na timina, provocando o seu pareamento com a guanina.

A desaminação pode ocorrer de forma espontânea, como dito anteriormente, ou ser induzida. Algumas substâncias produzem desaminação, um exemplo é o ácido nitroso que desamina a citosina convertendo-a em uracila. Durante a replicação esta uracila pareará

com a adenina. O ácido nitroso também desamina a guanina, produzindo um nucleotídeo com a base xantina, o qual pode parear com a timina.

Outra substância que induz mutações é a Hidroxilamina, responsável por adicionar grupos hidroxila às citosinas. Esta alteração química produz uma estrutura rara da citosina, de modo que durante a replicação esta pareia com a adenina.

Outras substâncias que ocasionam mutações são os agentes intercalantes, os quais se intercalam dentro da dupla fita de DNA, causando inserções e deleções. Exemplos de substâncias intercalantes são a proflavina, a acridina laranja, a dioxina e o brometo de etídio.

As mutações também podem ser geradas por radiações, exemplos são os raios X, que podem quebrar o DNA em fita simples ou dupla e a luz ultravioleta, que pode promover a formação de dímeros de pirimidinas (pareamento de timina-timina, citosina-citosina ou timinacitosina). Esses dímeros distorcem a dupla fita de DNA e bloqueiam a replicação até serem consertados pelos mecanismos de reparo.

Onde Ocorrem as Mutações?

Nos organismos multicelulares podemos encontrar dois grandes tipos de células, as somáticas e as gaméticas (germinativas). As primeiras apresentam a mitose como mecanismo de divisão celular, já as células germinativas se dividem, principalmente, por meiose. Desta forma, dependendo do tipo celular onde ocorrem, podemos classificar as mutações em somáticas e gaméticas. Assim, as mutações somáticas são as que ocorrem nas células somáticas e se espalham por mitose em um organismo. Este tipo de mutação é importante porque pode desencadear o câncer. As mutações gaméticas surgem nas células que originam gametas e podem ser transmitidas, podendo se expressar na linhagem somática da próxima geração. Desta forma, as mutações em células germinativas são muito importantes para a evolução.

Como se Classificam as Mutações?

Em relação a sua natureza molecular podemos classificar as mutações em substituições, inserções e deleções. As substituições consistem na troca de um nucleotídeo por outro. Podem ser de dois tipos: Transições ou Transversões. Nas transições uma purina é trocada por outra purina, ou uma pirimidina por outra pirimidina. Nas transversões uma purina é trocada por uma pirimidina ou vice-versa.

As inserções e deleções consistem na adição ou deleção de um ou alguns nucleotídeos. O principal problema desses tipos de mudanças é que afetam a matriz de leitura. Os nucleotídeos do RNA mensageiro são lidos de três em três durante a tradução.

Quando adicionamos ou deletamos nucleotídeos a matriz de leitura muda do ponto da adição ou deleção até o códon de parada. Assim, este tipo de mutação poderá mudar a sequência de aminoácidos desde o ponto onde ocorre a mutação até o códon de parada da tradução. Caso a inserção ou deleção for de três, ou múltiplos de três nucleotídeos, a mudança será menor, podendo afetar somente os códons que perderam ou ganharam nucleotídeos, mas não se estenderá até o códon de parada da tradução.

As mutações ocorrem ao nível molecular e nem sempre apresentam efeitos fenotípicos. Quando não ocorre mudança no fenótipo, a mutação causa apenas uma alteração no nucleotídeo e não gera uma mudança no aminoácido da proteína. Isso se deve ao fato de que vários aminoácidos são codificados por mais de um códon (código genético degenerado). As mutações que mudam os nucleotídeos e não mudam o aminoácido são chamadas de silenciosas. A seguir as mutações serão classificadas de acordo com suas consequências sobre o fenótipo.

O efeito fenotípico da mutação é observado na comparação de um indivíduo mutante com outro indivíduo sem a mutação, chamado de selvagem (Figura 1). Quando observamos que o fenótipo mutante é diferente do selvagem a mutação é chamada de direta. Às vezes o mutante muta novamente e restaura o fenótipo selvagem. Neste caso a nova mutação recupera o nucleotídeo original e restaura o mesmo aminoácido. Há também as mutações supressoras, neste caso a mudança não reverte o estado molecular selvagem, mas esconde ou suprime o efeito fenotípico da mutação direta. A mutação supressora não anula o que aconteceu na primeira mutação, mas, devido a uma segunda mutação, os efeitos da primeira são anulados.

Figura 1 — *Drosophila melanogaster*. Mosca com fenótipo selvagem.



Fonte: Imagens do Atlas of Drosophila Morphology.

As mutações de substituição também podem ter um efeito fenotípico se causarem mudanças no aminoácido, sendo chamadas de mutações não silenciosas (Tabela 1). Às vezes o novo aminoácido não afeta a função da proteína, nesse caso a substituição não silenciosa é considerada neutra. Outras vezes a mutação não silenciosa leva a perda da função da proteína, nesse caso a mutação é chamada de perda de função. Há também mutações não silenciosas onde é gerada uma nova função para um gene, são as mutações de ganho de função.

A mudança de nucleotídeo também pode originar um códon de parada antes do observado na forma selvagem, nesse caso essa substituição é chamada de mutação de parada.

Outras mutações com efeito fenotípico são as condicionais, nas quais o fenótipo mutante aparece em determinadas condições, por exemplo, a temperaturas acima de 28°C ocorre o fenótipo mutante, mas abaixo dessa temperatura se expressa o fenótipo selvagem.

Finalmente, temos as mutações letais, onde o indivíduo não nasce devido à presença de uma mutação. (Texto retirado do livro *Genética Geral Para Universitários*, editora universitária da UFRPE, 1ª edição, 2015).

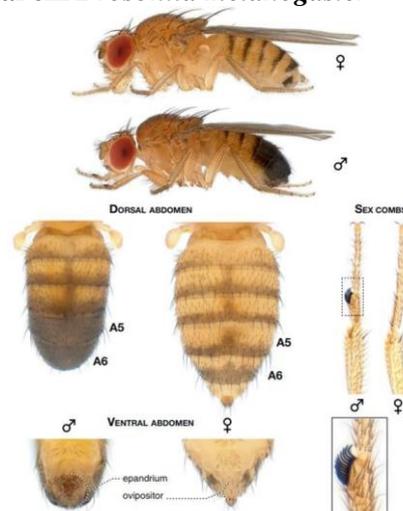
3ª aula (50 minutos)

Atividade 1

Nesta atividade, os estudantes observarão diversas imagens, a fim de diferenciar o gênero, macho e fêmea comparar o fenótipo selvagem com os fenótipos mutantes (Sco/CyO) que serão trabalhados na aula prática.

Observe a imagem abaixo:

Figura 2 — Dimorfismo sexual em *Drosophila melanogaster*

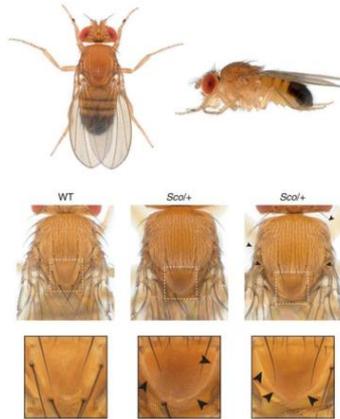


Fonte: Imagens do Atlas of *Drosophila* Morphology.

1ª questão: Quais são as diferenças fenotípicas entre macho e fêmea?

Observe a imagem abaixo:

Figura 3 — *Scutoid* tipo selvagem com quarto cerdas e *Scutoid* com a mutação *Sco* sem cerdas

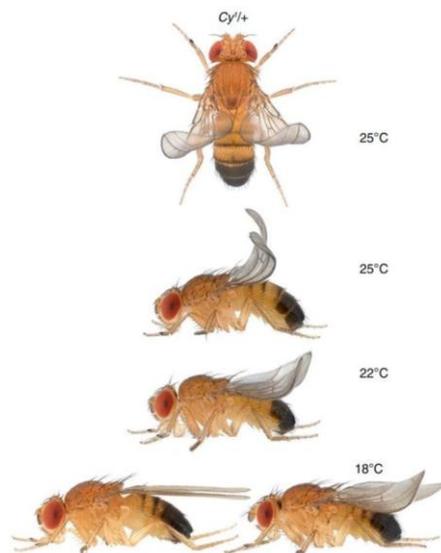


Fonte: Imagens do Atlas of Drosophila Morphology.

2ª questão: Qual é a diferença fenotípica entre o tipo selvagem e o portador da mutação scutoid?

Observe a imagem abaixo:

Figura 4 — *Drosophila melanogaster* mostrando as diferenças fenotípicas entre o tipo selvagem e o portador do fenótipo *CYO* que apresenta asas curvas em comparação ao tipo selvagem com asas retas.



Fonte: Imagens do Atlas of Drosophila Morphology.

3ª questão: Qual é a diferença fenotípica entre o tipo selvagem e o portador da mutação *curly* (CYO)?

4ª aula (50 minutos)

Orientações para o professor: o professor deverá preparar o material que será utilizado nessa aula e orientar os estudantes sobre como manusear o estereomicroscópio para que identifiquem as características fenotípicas que deverão ser observadas nas moscas. É importante que o professor auxilie e verifique se os estudantes estão conseguindo observar e identificar as características fenotípicas escolhidas para trabalhar nessa aula prática. Esse conteúdo abordará a 2ª Lei de Mendel (transmissão de duas ou mais características ao mesmo tempo). Os estudantes farão a análise, no estereomicroscópio, dos indivíduos da Geração F1, portadores das mutações que foram escolhidas para serem estudadas (Sco/CYO x +/+); (Sco/CYO x Sco/CYO) e que ao serem cruzados, originaram nos indivíduos da Geração F1, as características fenotípicas que serão analisadas no estereomicroscópio e discutidas nessa 6ª aula. Os resultados esperados são os seguintes: (ver quadro de Punnett). Após a análise das características escolhidas e trabalhadas na 6ª e 7ª aula, os estudantes deverão responder a um questionário cujas respostas dos estudantes possibilitarão ao professor avaliar o nível de compreensão dos estudantes sobre o assunto. É importante também que o professor observe o nível de interesse e engajamento dos estudantes durante a realização das atividades previstas nas sete aulas dessa sequência de atividades. O envolvimento dos alunos na realização das atividades permitirá uma avaliação qualitativa das atividades propostas.

Quadro 3 — Genótipo 2/4 ou 50% Sco/+ Genótipo 2/4 ou 50% CYO/+ Fenótipo 2/4 ou 50% Sco Fenótipo 2/4 ou 50% CYO

♂ ♀	Sco	CYO
+	Sco/+	CYO/+
+	Sco/+	CYO/+

Fonte: O autor (2024).

Quadro 4 — Genótipo Sco/+Sco 1/4 ou 25% letal Genótipo CYO/CYO 1/4 ou 25% letal e fenótipo Genótipo Sco/CYO 2/2 ou 100% Fenótipo 100% Sco/CYO

♂/♂	Sco	CYO
Sco	Sco/Sco	Sco/CYO

♂/♂	Sco	CYO
CYO	Sco/CYO	CYO/CYO

Fonte: O autor (2024).

Espera-se que essa sequência de quatro aulas motive os estudantes a aprofundarem os estudos mediante pesquisas e que seja possível perceber como as características são transmitidas ao longo das gerações, ou seja, como as mutações genéticas do cromossomo II de *D. melanogaster* se segregam independentemente durante a formação dos gametas na Geração Parental e produzem características fenotípicas que se combinam de diferentes maneiras nos indivíduos da Geração F1 em comparação às características fenotípicas da Geração Parental que os originou.

APÊNDICE D — ROTEIRO DE AULA PARA O PROFESSOR (SEQUÊNCIA DIDÁTICA) TEMA: ENSINO DE MUTAÇÕES GÊNICAS E HERANÇA DE GENÉTICA CLÁSSICA A PARTIR DE ATIVIDADES INVESTIGATIVAS BASEADAS EM UM MODELO ANIMAL: *Drosophila melanogaster*

Nesse roteiro de aula, o professor trabalhará com seus alunos, conceitos de mutação genética e herança genética mendeliana mediante abordagem investigativa em aulas teóricas e práticas com *Drosophila melanogaster* (moscas das frutas).

Objetivos para essa sequência didática

Realizar cruzamentos entre *Drosophila melanogaster* com as mutações Sco/CYO x *Drosophila melanogaster* tipo selvagem +/+; *Drosophila melanogaster* tipo selvagem +/+ x *Drosophila melanogaster* com as mutações MKRS/TM6B) e avaliar a progênie com os estudantes relacionando a transmissão dessas características mutantes com a 2ª Lei de Mendel;

Realizar cruzamentos entre *Drosophila melanogaster* com as mutações Sco/CYO x *Drosophila melanogaster* Sco/CYO; *Drosophila melanogaster* com as mutações MKRS/TM6B x *Drosophila melanogaster* com as mutações MKRS/TM6B e avaliar a progênie com os estudantes relacionando a transmissão dessas características mutantes com a 2ª Lei de Mendel e a ocorrência de letalidade;

Descrever as características fenotípicas resultantes do cruzamento realizados com *Drosophila melanogaster*;

Compreender como as características fenotípicas surgem em um indivíduo e como são transmitidas ao longo das gerações;

Conhecer as características dos insetos e relacioná-las a sua classificação.

A presente sequência didática apresenta uma sequência de atividades que tem como finalidade instigar os alunos a responderem à questão motivadora que se segue abaixo. Ao responderem à questão mediante a realização das atividades propostas nessa sequência, espera-se que os objetivos elencados, visando uma melhor compreensão de genética, sejam atingidos.

Como as mutações genéticas são transmitidas ao longo das gerações e como produzem características fenotípicas em um indivíduo?

1ª aula (50 minutos)

Orientações para o professor: nessa aula, o professor apresentará, aos estudantes, a questão investigativa, proporá a formulação de hipóteses, estabelecerá junto com estudantes, os cruzamentos da Geração Parental colocando as moscas com as características desejadas para o estudo, dentro dos vials para que se reproduzam e deem origem a Geração F1 que será analisada na sétima e oitava aula dessa sequência didática.

Em seguida, disponibilizará para os estudantes, as moscas com as características desejadas para serem objeto de estudo ao longo dessa sequência didática. Os estudantes, sob orientação do professor, farão a análise no estereomicroscópio dos indivíduos da Geração Parental, portadores das mutações que foram escolhidas para serem estudadas. Essa etapa demanda muito tempo e precisará ter continuação na segunda aula. O conteúdo dessa aula abordará a 2ª Lei de Mendel (transmissão de duas ou mais características ao mesmo tempo). Os estudantes farão a análise no estereomicroscópio dos indivíduos da

Geração Parental, portadores das mutações que foram escolhidas para serem estudadas (Sco/CYO x +/+); (Sco/CYO x Sco/CYO); (+/+ x MKRS/TM6B); (MKRS/TM6B x

MKRS/TM6B) e que ao serem cruzados, originarão nos indivíduos da Geração F1, as características fenotípicas que serão analisadas no estereomicroscópio e discutidas na 7ª e 8ª aula.

2ª aula (50 minutos)

Orientações para o professor: nessa aula, o professor dará continuação as análises das características fenotípicas das moscas com os estudadas, disponibilizando as moscas com as características previamente selecionadas. Os estudantes, sob orientação do professor, farão a análise no estereomicroscópio dos indivíduos da Geração Parental, portadores das mutações escolhidas.

O conteúdo dessa aula também abordará a 2ª Lei de Mendel (transmissão de duas ou mais características ao mesmo tempo). Os estudantes farão a análise no estereomicroscópio dos indivíduos da Geração Parental, portadores das mutações que foram escolhidas para serem estudadas (Sco/CYO x +/+); (Sco/CYO x Sco/CYO); (+/+ x MKRS/TM6B); (MKRS/TM6B x MKRS/TM6B) e que ao serem cruzados, originarão nos indivíduos da Geração F1, as características fenotípicas que serão analisadas no estereomicroscópio e discutidas na 7ª e 8ª aula.

3ª aula (50 minutos)

Orientações para o professor: nessa aula, professor deverá aplicar o questionário abaixo para verificar o conhecimento prévio dos alunos sobre as características morfológica, a clarificação dos insetos, mutações genética e herança genética. As respostas dos estudantes serão úteis para o professor perceber onde os estudantes precisam melhorar, e assim, conduzir suas atividades.

Questionário para levantamento do conhecimento prévio dos estudantes

1. Sobre os insetos, a qual classe eles pertencem?

2. Em quantas partes o corpo dos insetos é dividido? Quais são elas?

3. Quantos pares de pernas há nos insetos?

4. Quantos pares de antenas há nos insetos?

5. As asas sempre estão presentes nos insetos?

6. O que são mutações genéticas?

7. Há diferença entre genótipo e fenótipo? Qual?

8. Como um fenótipo surge em um indivíduo de uma espécie?

9. Um fenótipo pode ser transmitido para os descendentes? De qual maneira isso ocorre?

4ª aula (50 minutos)

Orientações para o professor: nessa aula, professor deverá disponibilizar para os alunos, o texto que se segue abaixo sobre a história das *D. melanogaster*. O referido texto, tem por finalidade, despertar a curiosidade dos alunos sobre como os estudos desenvolvidos com as moscas das frutas tem contribuído para o desenvolvimento do conhecimento científico, especialmente a genética. Após a leitura do texto, feita pelos alunos, o professor deverá dialogar sobre as informações contidas no mesmo com os seus estudantes.

Mosca-da-fruta é arma para desvendar os grandes mistérios da vida

A mosca-da-fruta, ou *Drosophila melanogaster*, seu nome científico, vem sendo estudada há mais de cem anos.

Sim, moscas-das-frutas gostam de bananas. Você as encontra na cesta quando as frutas começam a estragar.

Mas elas também são um ótimo mecanismo para investigar o tempo ou, mais especificamente, os efeitos do tempo. Isso porque o ciclo de vida delas é tão curto que permite estudá-las por gerações e gerações, o que é quase impossível com humanos.

Elas custam pouco e se reproduzem de maneira extremamente rápida. Em temperatura ambiente, uma fêmea pode botar de 30 a 50 ovos por dia durante sua vida. O ciclo reprodutivo é curto, de 8 a 14 dias, e essas moscas podem se tornar avós e avôs em apenas 3 a 4 semanas.

Com três milímetros de tamanho, populações de milhões desses insetos podem ser mantidas em um laboratório e sustentadas com uma dieta simples de carboidratos e proteínas, geralmente farinha de milho e extratos de levedura.

Em 1933, Thomas Hunt Morgan ganhou um prêmio Nobel por estudar como a *Drosophila* recebia de herança uma mutação genética que deixava seus olhos brancos, e não vermelhos.

A pesquisa de Morgan levou à teoria sobre genes produzidos pelo DNA serem carregados por cromossomos, que eram transmitidos por gerações. A descoberta preparou o terreno para a genética moderna e o estudo da teoria cromossômica da herança.

Desde então, estudos conduzidos nessas moscas levaram a cinco premiações no Nobel, em 1946, 1995 e 2011. Conhecimento atual sobre como nos desenvolvemos, nosso comportamento, envelhecimento e evolução todos são construídos sobre a base dessas pesquisas com moscas-da-fruta.

E quanto mais as estudamos mais descobrimos que somos parecidos: 75% dos genes associados a doenças humanas têm um correspondente identificável na mosca-da-fruta.

A *Drosophila* tem quatro pares de cromossomos e cerca de 14 mil genes. Compare isso com os humanos, que têm cerca de 22,5 mil genes, e a levedura, com 5,8 mil genes, e somos muito mais parecidos do que você possa imaginar.

Essa proximidade genética relativa significa que experimentos com *Drosophila* podem ser traduzidos de maneira efetiva para humanos. Deixamos as moscas bêbadas para estudar o vício ao álcool, investigamos o sono delas e como são afetadas pelo café e descobrimos que moscas mais velhas dormem menos.

Os primeiros genes do "jet lag" foram identificados em moscas, e hoje sabemos que também os temos.

Milhares de cientistas usam *Drosophila* como um organismo modelo pelo mundo, e até fora do planeta.

Moscas-da-fruta foram os primeiros animais lançados ao espaço e há um laboratório permanente de moscas-da-fruta na Estação Espacial Internacional. O espaço serve para estudar coisas como por que astronautas são mais suscetíveis a doenças enquanto estão no espaço.

Por que então, se somos tão próximos geneticamente, somos diferentes das moscas e até das leveduras em um monte de outras coisas?

Terceiro segredo' da vida

Peter Lawrence, autor do livro *The Making of the Fly* (A Construção da Mosca, em tradução livre), descreve isso como o "terceiro segredo da vida".

Em entrevista à BBC, ele contou que o primeiro segredo é a teoria da evolução de Charles Darwin, que "descreve a gênese de todas as plantas e animais, de tudo, desde o começo".

"A segunda é a descoberta do DNA, porque sem entender como essa informação é codificada e armazenada nessa molécula não saberíamos muito sobre o mecanismo que está por trás da vida", afirma.

O terceiro segredo é uma pergunta que Lawrence vê como o maior desafio colocado aos biólogos do futuro.

"É algo tão cotidiano que nem pensamos a respeito. O que difere um rinoceronte de um hipopótamo?", ele diz.

"Quando você olha para os genes, não há muita diferença. Então o que produz os padrões e tudo mais?

Onde o tamanho do seu nariz está especificado? O que faz as crianças se parecerem com os pais, o que determina o formato de um rosto? Nós não sabemos. Esse, para mim, é o grande problema sem solução na biologia, e que chamo de 'terceiro segredo da vida'."

É um assunto que cientistas já tentaram investigar. Moscas com asas maiores foram analisadas, por exemplo, para tentar isolar os genes responsáveis pelo aumento de tamanho. Pesquisadores compararam espécies com relação evolutiva semelhante e examinaram as diferenças que conduziram a morfologias distintas.

Mas, de acordo com Lawrence, esses estudos são importantes por ajudarem a encaixar peças nesse quebra-cabeça. Só que há ainda um longo caminho até desvendarmos o "grande mistério", e ainda precisamos torná-lo um foco maior de pesquisa.

"Se você olhar para todo o universo da ciência você uma grande área escura, e se olhar mais perto verá alguns pontos bem iluminados aqui e acolá, e em cada um há pesquisadores discutindo entre si, mas eles não olham para fora dessas janelas para imaginar o que possa estar lá", diz o cientista.

Quaisquer que sejam as respostas, afirma Lawrence, elas provavelmente serão descobertas estudando as boas e velhas moscas-das-frutas.

(Esse texto pode ser encontrado no site <https://www.bbc.com/portuguese/vert-earth-37014344>)

5ª aula (50 minutos)

Orientações para o professor: o conteúdo dessa aula abordará o conceito de mutações genéticas. Nessa aula, professor deverá disponibilizar para os alunos, o texto que se segue abaixo, sobre mutações genéticas, a fim de que possam compreender o referido

conceito. Após a leitura do texto, feita pelos alunos, o professor deverá dialogar com seus estudantes, sobre as informações contidas no mesmo.

Mutações Gênicas: Definição e Importância

Ao imaginarmos o DNA pensamos muitas vezes em uma molécula estável e de replicação extremamente eficiente. No entanto, um olhar mais atento nos mostrará que, por vezes, algumas sequências de nucleotídeos desta incrível molécula da vida podem ser alteradas de forma natural ou não, processo que chamamos de mutação gênica.

Mutações gênicas são modificações nos nucleotídeos de DNA (A, T, C e G) de um organismo. É o processo pelo qual os genes mudam de uma forma alélica para outra, portanto, as mutações são consideradas fonte de variabilidade genética. Embora a maioria das mudanças no DNA leve a efeitos ruins, a mutação gênica é vital para a evolução. Caso não ocorresse mutação, o material genético primordial ainda estaria igual e, possivelmente, ainda seríamos bactérias primitivas. A mutação fornece novas combinações genéticas, sendo a matéria prima para a evolução. É sobre a variabilidade gerada pelas mutações e pela recombinação que opera a seleção natural, permitindo que as populações evoluam e se adaptem aos mais diversos tipos de ambientes. Embora as mutações sejam muito importantes para a adaptação e evolução das populações e espécies, devemos ter em mente que estas não ocorrem para benefício de um organismo em uma determinada situação. As mutações simplesmente ocorrem e são filtradas pela seleção natural, de modo que permanecem apenas as adaptativas.

Como Surgem as Mutações?

Dependendo da sua origem, as mutações gênicas podem ser classificadas como espontâneas ou induzidas. Mutações espontâneas são aquelas que ocorrem naturalmente, sem uma causa aparente. As mutações induzidas são aquelas que aparecem em decorrência da utilização de agentes mutagênicos.

Entre as mutações espontâneas podemos citar a depurinação e a desaminação. No primeiro caso uma base púrica (A ou G) de um nucleotídeo é perdida, gerando um sítio apurínico. Assim, durante a replicação do DNA, esse sítio não pode atuar como molde na formação da fita complementar. Como consequência, um nucleotídeo qualquer é incorporado como complementar ao sítio apurínico, geralmente ocorrendo a incorporação de uma adenina. A desaminação consiste na perda de um grupo amino

(NH₂) de uma base nitrogenada. Essa modificação química altera o padrão de pareamento, por exemplo, a desaminação da citosina faz com que ela se comporte como uma uracila e forme par com a adenina durante a replicação.

Uma mutação pode ser induzida por análogos de bases. Estas são substâncias que tem uma estrutura química similar a uma das bases nitrogenadas do DNA. Devido a tal similaridade, a DNA polimerase não consegue distinguir entre a base correta do DNA e o análogo, podendo incorporar erroneamente este último durante a replicação do DNA. Um exemplo de análogo de bases é o 5- bromouracil (5BU), um análogo da timina, que pode ser incorporado em seu lugar durante a replicação. O análogo normalmente parecia com a adenina, mas às vezes pode parear com a guanina levando a erros nas replicações que seguem a sua incorporação.

As mutações também podem ser induzidas pelos chamados agentes alquilantes. Estas substâncias doam grupos alquila metil (CH₃) e etil (CH₃-CH₂) para as bases nitrogenadas, modificando seus padrões naturais de pareamento durante a replicação do DNA. Um exemplo de substância alquilante é o etilmetilsulfonato (EMS), o qual doa um grupo etil para a guanina, de modo que esta forma par com timina. O EMS também adiciona um grupamento etil na timina, provocando o seu pareamento com a guanina.

A desaminação pode ocorrer de forma espontânea, como dito anteriormente, ou ser induzida. Algumas substâncias produzem desaminação, um exemplo é o ácido nitroso que desamina a citosina convertendo-a em uracila. Durante a replicação esta uracila pareará com a adenina. O ácido nitroso também desamina a guanina, produzindo um nucleotídeo com a base xantina, o qual pode parear com a timina.

Outra substância que induz mutações é a Hidroxilamina, responsável por adicionar grupos hidroxila às citosinas. Esta alteração química produz uma estrutura rara da citosina, de modo que durante a replicação esta parecia com a adenina.

Outras substâncias que ocasionam mutações são os agentes intercalantes, os quais se intercalam dentro da dupla fita de DNA, causando inserções e deleções. Exemplos de substâncias intercalantes são a proflavina, a acridina laranja, a dioxina e o brometo de etídio.

As mutações também podem ser geradas por radiações, exemplos são os raios X, que podem quebrar o DNA em fita simples ou dupla e a luz ultravioleta, que pode promover a formação de dímeros de pirimidinas (pareamento de timina-timina, citosina- citosina ou timinacitosina). Esses dímeros distorcem a dupla fita de DNA e bloqueiam a replicação até serem consertados pelos mecanismos de reparo.

Onde Ocorrem as Mutações?

Nos organismos multicelulares podemos encontrar dois grandes tipos de células, as somáticas e as gaméticas (germinativas). As primeiras apresentam a mitose como

mecanismo de divisão celular, já as células germinativas se dividem, principalmente, por meiose. Desta forma, dependendo do tipo celular onde ocorrem, podemos classificar as mutações em somáticas e gaméticas. Assim, as mutações somáticas são as que ocorrem nas células somáticas e se espalham por mitose em um organismo. Este tipo de mutação é importante porque pode desencadear o câncer. As mutações gaméticas surgem nas células que originam gametas e podem ser transmitidas, podendo se expressar na linhagem somática da próxima geração. Desta forma, as mutações em células germinativas são muito importantes para a evolução.

Como se Classificam as Mutações?

Em relação a sua natureza molecular podemos classificar as mutações em substituições, inserções e deleções. As substituições consistem na troca de um nucleotídeo por outro. Podem ser de dois tipos: Transições ou Transversões. Nas transições uma purina é trocada por outra purina, ou uma pirimidina por outra pirimidina. Nas transversões uma purina é trocada por uma pirimidina ou vice-versa.

As inserções e deleções consistem na adição ou deleção de um ou alguns nucleotídeos. O principal problema desses tipos de mudanças é que afetam a matriz de leitura. Os nucleotídeos do RNA mensageiro são lidos de três em três durante a tradução. Quando adicionamos ou deletamos nucleotídeos a matriz de leitura muda do ponto da adição ou deleção até o códon de parada. Assim, este tipo de mutação poderá mudar a sequência de aminoácidos desde o ponto onde ocorre a mutação até o códon de parada da tradução. Caso a inserção ou deleção for de três, ou múltiplos de três nucleotídeos, a mudança será menor, podendo afetar somente os códons que perderam ou ganharam nucleotídeos, mas não se estenderá até o códon de parada da tradução.

As mutações ocorrem ao nível molecular e nem sempre apresentam efeitos fenotípicos. Quando não ocorre mudança no fenótipo, a mutação causa apenas uma alteração no nucleotídeo e não gera uma mudança no aminoácido da proteína. Isso se deve ao fato de que vários aminoácidos são codificados por mais de um códon (código genético degenerado). As mutações que mudam os nucleotídeos e não mudam o aminoácido são chamadas de silenciosas. A seguir as mutações serão classificadas de acordo com suas consequências sobre o fenótipo.

O efeito fenotípico da mutação é observado na comparação de um indivíduo mutante com outro indivíduo sem a mutação, chamado de selvagem (Figura 1). Quando observamos que o fenótipo mutante é diferente do selvagem a mutação é chamada de direta. Às vezes o mutante muta novamente e restaura o fenótipo selvagem. Neste caso a nova

mutação recupera o nucleotídeo original e restaura o mesmo aminoácido. Há também as mutações supressoras, neste caso a mudança não reverte o estado molecular selvagem, mas esconde ou suprime o efeito fenotípico da mutação direta. A mutação supressora não anula o que aconteceu na primeira mutação, mas, devido a uma segunda mutação, os efeitos da primeira são anulados.

Figura 1 — *Drosophila melanogaster*. Mosca com fenótipo selvagem.



Fonte: Imagens do Atlas of Drosophila Morphology.

As mutações de substituição também podem ter um efeito fenotípico se causarem mudanças no aminoácido, sendo chamadas de mutações não silenciosas (Tabela 1). Às vezes o novo aminoácido não afeta a função da proteína, nesse caso a substituição não silenciosa é considerada neutra. Outras vezes a mutação não silenciosa leva a perda da função da proteína, nesse caso a mutação é chamada de perda de função. Há também mutações não silenciosas onde é gerada uma nova função para um gene, são as mutações de ganho de função.

A mudança de nucleotídeo também pode originar um códon de parada antes do observado na forma selvagem, nesse caso essa substituição é chamada de mutação de parada (Figura 5).

Outras mutações com efeito fenotípico são as condicionais, nas quais o fenótipo mutante aparece em determinadas condições, por exemplo, a temperaturas acima de 28°C ocorre o fenótipo mutante, mas abaixo dessa temperatura se expressa o fenótipo selvagem.

Finalmente, temos as mutações letais, onde o indivíduo não nasce devido à presença de uma mutação.

(Texto retirado do livro *Genética Geral Para Universitários*, editora universitária da UFRPE, 1ª edição, 2015).

6ª aula (50 minutos)

Orientações para o professor: nessa aula, serão trabalhadas as características fenotípicas da classe insecta. Os estudantes deverão ler o texto abaixo sobre os insetos,

observar as imagens e responder ao questionário acerca das características fenotípicas que caracterizam a classe insecta e a diferencia das demais classes que alocam os demais animais. Após a leitura do texto, feita pelos alunos, o professor deverá dialogar com os estudantes sobre as informações contidas no mesmo e orientar os alunos durante a realização da atividade esclarecendo eventuais dúvidas.

Como saber se é um inseto?

Os insetos, os escorpiões, as aranhas, os caranguejos, os carrapatos, os camarões e alguns mais pertencem ao filo Arthropoda, isto é, aqueles que possuem apêndices articulados (do grego “arthro”= articulado; “pous, podos” = pés). Eles podem variar muito de tamanho, desde partes do milímetro até cerca de 20cm.

Os insetos têm o corpo dividido em 3 partes, cabeça, tórax e abdome. Na cabeça têm 1 par de antenas, um par de olhos (chamados olhos compostos) e uma boca que, dependendo do inseto, pode mastigar, lamber ou sugar. No tórax têm 3 pares de pernas articuladas e a maioria tem asas.

Os insetos possuem simetria bilateral – o lado esquerdo é semelhante ao direito. Possuem um esqueleto externo que durante o crescimento de suas fases é trocado até chegar a adulto. O adulto não cresce mais.

Todo inseto nasce a partir de um ovo. Do ovo até chegar à fase adulta, o ciclo de vida, em geral, pode sofrer pequenas, médias ou grandes transformações, conhecidas como metamorfose – palavra de origem grega que significa “mudança de forma”. As transformações podem ser:

- Sem metamorfose: o inseto, ao sair do ovo é uma ninfa, muda de pele várias vezes, cresce a cada mudança, mas não difere dos adultos, que são diferentes das ninfas apenas por possuírem órgãos sexuais.

Os adultos deste grupo não possuem asas. Ninfas e adultos vivem no mesmo tipo de ambiente e têm os mesmos tipos de alimentação. Exemplo: traça dos livros.

- Metamorfose gradual: o inseto ao sair do ovo é uma ninfa que, à medida que cresce e muda de pele várias vezes, fica cada vez mais parecida com o adulto; nos últimos estádios aparecem vestígios das futuras asas. Os adultos deste grupo têm geralmente dois pares de asas (alguns não têm) e órgãos sexuais desenvolvidos. Ninfas e adultos vivem no mesmo tipo de ambiente e têm o mesmo tipo de alimentação. Exemplo: baratas, gafanhotos, barbeiros, piolhos e percevejos de plantas.

- Metamorfose incompleta: o inseto ao sair do ovo é uma ninfa totalmente diferente do adulto; muda de pele algumas vezes e cresce. Toda essa fase é vivida na água; portanto,

as ninfas vivem em ambientes diferentes do adulto, que é terrestre, possui dois pares de asas e vive ativamente. Exemplo: libélulas, lavadeiras, efemérides.

- **Metamorfose completa:** o inseto ao sair do ovo é uma larva vermiforme que, depois de várias mudanças de pele, cresce e se transforma numa pupa. As larvas nunca são parecidas com os adultos; vivem em ambientes totalmente diferente deles e sua alimentação também é diferente. A pupa geralmente é imóvel, mas nunca se alimenta. Os adultos possuem órgãos sexuais desenvolvidos e, dependendo do grupo, podem ser ápteros (as pulgas), com um par de asas (moscas e mosquitos) ou com dois pares de asas (besouros, borboletas e marimbondos).

Classificação

No livro do Gênesis, Deus pede a Adão que dê nomes aos animais, que Ele havia criado. Desde o início da civilização, quando os homens começaram a dar nomes às plantas e aos animais que utilizavam para alimentação, vestuários e remédios, foi sentida a necessidade de fazer uma classificação dos animais e das plantas e a ideia foi evoluindo entre os povos.

Foi o naturalista sueco Carl Linnaeus que, em 1735, organizou os critérios para os nomes científicos de plantas e animais, o que facilitou o trabalho das pessoas que estudam os seres vivos, evitando que o mesmo animal ou planta tivessem vários nomes diferentes.

Hoje, as plantas, os animais, os fungos, os protistas, as bactérias e as arqueas são classificados em diferentes categorias: reino, filo, classe, ordem, família, gênero, espécie.

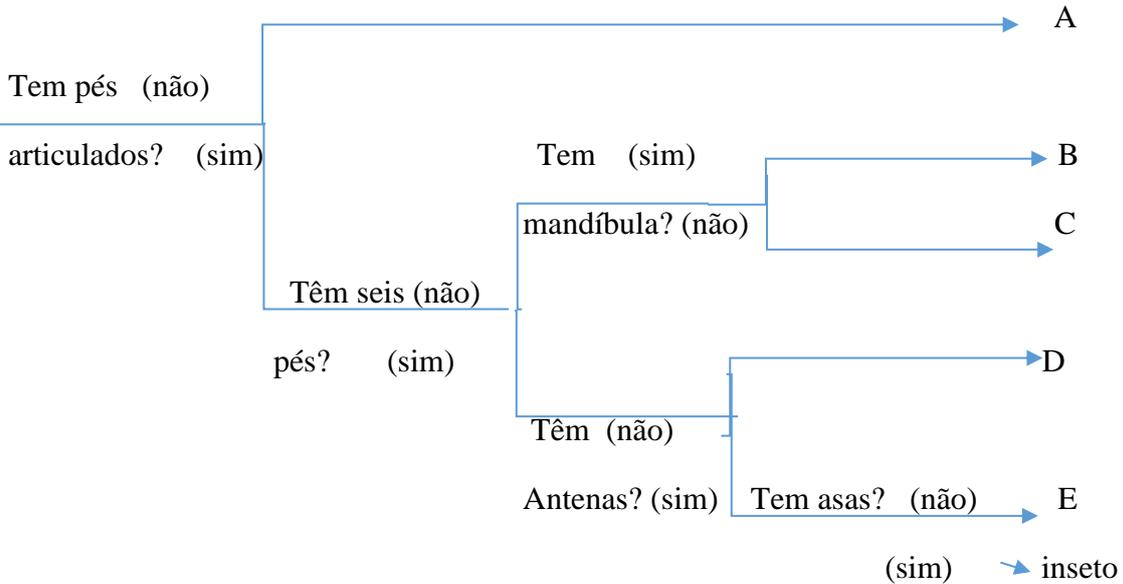
Tabela 1— Classificação taxonômica da mosca das frutas e da espécie humana.

Classificação	Mosca das frutas	Homem
Reino	<i>Animal</i>	Animal
Filo	<i>Arthropoda</i>	Chordata
Classe	<i>Insecta</i>	Mammalia
Ordem	<i>Diptera</i>	Primata
Família	<i>Drosophilidae</i>	Hominidae
Gênero	<i>Drosophila.</i>	Homo
Espécie	<i>Drosophila melanogaster</i>	<i>Homo sapiens</i>

Fonte: O autor (2024).

A fim de identificar se um animal é um inseto responda as questões da chave dicotômica abaixo.

Figura 2 -- Chave dicotômica ara a identificação de insetos.



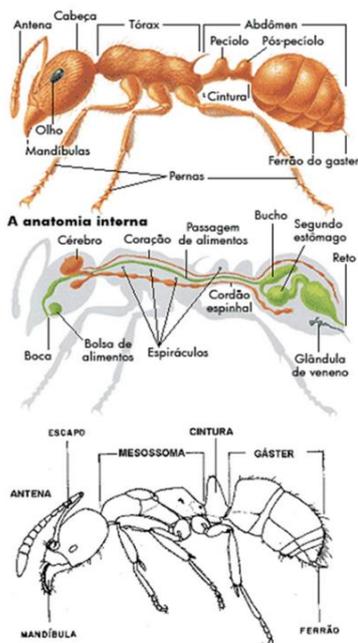
Fonte: O autor (2024).

Observação: Se o animal que você pretende saber se é um inseto, preenche as características da chave dicotômica abaixo, isto é, se você respondeu sim as questões da chave dicotômica, então ele é um inseto.

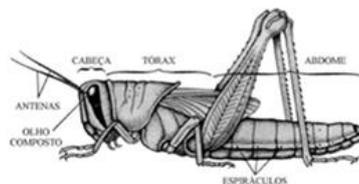
Atividade 1

Observe as imagens abaixo:

Figura 3. A - Esquema de anatomia de uma formiga. B - Foto de uma borboleta monarca. C – Esquema de anatomia de um gafanhoto.



B
Fonte: https://images.google.com/?hl=xxelmer&gws_rd=ssl.



C
Fonte: <http://setimocientista.blogspot.com> (2024).

A
Fonte: <http://cencaestamosnosblogspot.com/201/06/formigas.html4>).

Atividade 1

Observe as imagens abaixo:

1. Em quantas partes o corpo desse táxon de animais é dividido? Quais são elas?

2. Quantos pares de pernas há no tórax?

3. Quantos pares de antenas há nesse táxon de animais?

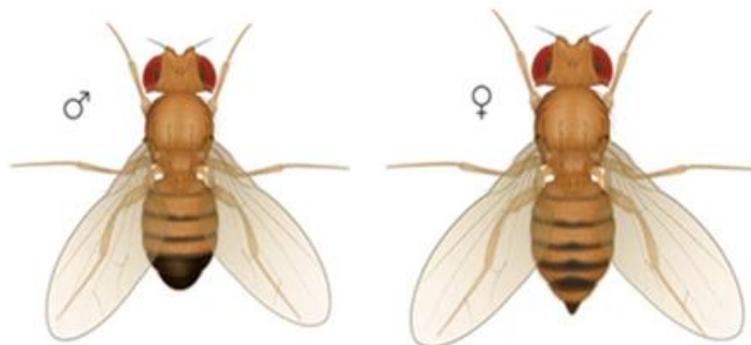
4. As asas sempre estão presentes nesse táxon de animais?

Atividade 2

Nesta atividade, os estudantes observarão diversas imagens, a fim de diferenciar o gênero, macho e fêmea comparando o fenótipo selvagem com os fenótipos mutantes (Sco/CyO; MKRS/TM6B) que serão trabalhados na aula prática.

Observe a imagem abaixo:

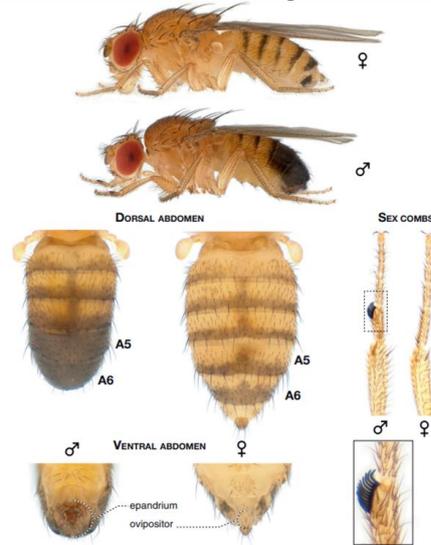
Figura 6 — Esquema de moscas *Drosophila melanogaster* mostrando as diferenças fenotípicas entre macho e fêmea.



Fonte: https://images.google.com/?hl=xx-elmer&gws_rd=ssl

Observe a imagem abaixo:

Figura 7 — Dimorfismo sexual em *Drosophila melanogaster*.

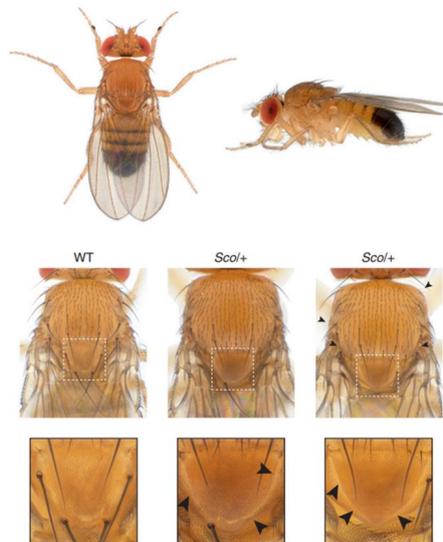


Fonte: Imagens do Atlas of *Drosophila* Morphology.

1ª questão: Quais são as diferenças fenotípicas entre macho e fêmea?

Observe a imagem abaixo:

Figura 8 — *Scutoid* tipo selvagem com quarto cerdas e *Scutoid* com a mutação *Sco* sem cerdas.

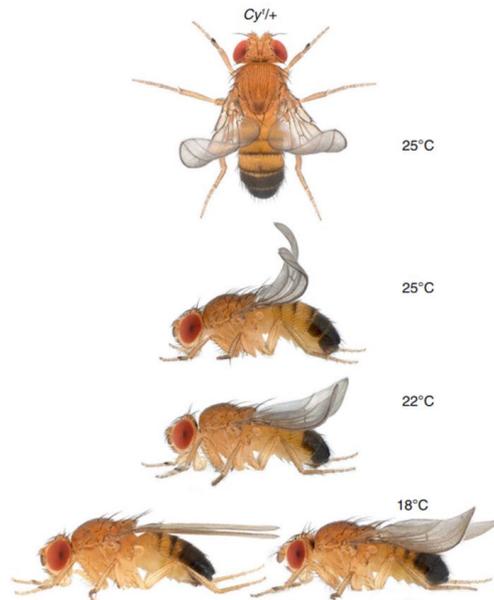


Fonte: Imagens do Atlas of *Drosophila* Morphology.

2ª questão: Qual é a diferença fenotípica entre o tipo selvagem e o portador da mutação scutoid?

Observe a imagem abaixo:

Figura 9 — *Drosophila melanogaster* mostrando as diferenças fenotípicas entre o tipo selvagem e o portador do fenótipo *CYO* que apresenta asas curvas em comparação ao tipo selvagem com asas retas

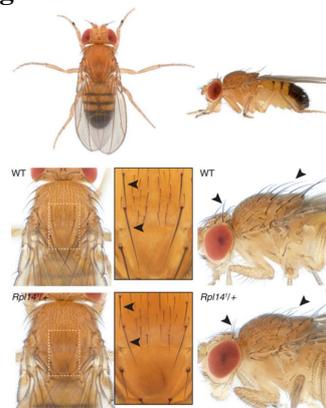


Fonte: Imagens do Atlas of Drosophila Morphology.

3ª questão: Qual é a diferença fenotípica entre o tipo selvagem e o portador da mutação *curly (CYO)*?

Observe a imagem abaixo:

Figura 10 — *Drosophila melanogaster* mostrando as diferenças fenotípicas entre o tipo selvagem e o portador da mutação *MKRS* que apresenta cerdas mais curtas e mais grossas em comparação com o tipo selvagem.

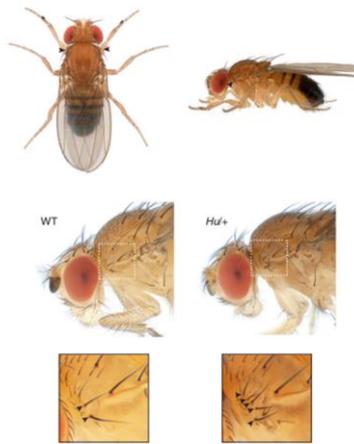


Fonte: Imagens do Atlas of Drosophila Morphology

4ª questão: Qual é a diferença fenotípica entre o tipo selvagem e o portador da mutação MKRS?

Observe a imagem abaixo:

Figura 11 — *Drosophila melanogaster* mostrando as diferenças fenotípicas entre o tipo selvagem e o portador da mutação TM6B que apresenta cerdas extras no úmero em comparação com o tipo selvagem



Fonte: Imagens do Atlas of Drosophila Morphology.

5ª questão: Qual é a diferença fenotípica entre o tipo selvagem e o portador da mutação TM6B?

7ª aula (50 minutos)

Orientações para o professor: o professor deverá preparar o material que será utilizado nessa aula e orientar os estudantes sobre como manusear o estereomicroscópio para que identifiquem as características fenotípicas que deverão ser observadas nas moscas. É importante que o professor auxilie e verifique se os estudantes estão conseguindo observar e identificar as características fenotípicas escolhidas para trabalhar nessa aula prática. Esse conteúdo abordará a 2ª Lei de Mendel (transmissão de duas ou mais características ao mesmo tempo). Os estudantes farão a análise, no estereomicroscópio, dos indivíduos da Geração F1, portadores das mutações que foram escolhidas para serem estudadas (*Sco/CYO* x *+/+*); (*Sco/CYO* x *Sco/CYO*) e que ao serem cruzados, originaram nos indivíduos da Geração F1, as características fenotípicas que serão analisadas no estereomicroscópio e discutidas nessa 6ª aula. Os resultados esperados são os seguintes:

(ver quadro de Punnett). Após a análise das características escolhidas e trabalhadas na 6ª e 7ª aula, os estudantes deverão responder a um questionário cujas respostas dos estudantes possibilitarão ao professor avaliar o nível de compreensão dos estudantes sobre o assunto. É importante também que o professor observe o nível de interesse e engajamento dos estudantes durante a realização das atividades previstas nas sete aulas dessa sequência de atividades. O envolvimento dos alunos na realização das atividades permitirá uma avaliação qualitativa das atividades propostas.

Quadro 1 — Genótipo 2/4 ou 50% Sco/+ Genótipo 2/4 ou 50% CYO/+ Fenótipo 2/4 ou 50% Sco Fenótipo 2/4 ou 50% CYO

♂	♀	Sco	CYO
+	+	Sco/+	CYO/+
+	+	Sco/+	CYO/+

Fonte: O autor (2024).

Quadro 2 — Genótipo Sco/+Sco 1/4 ou 25% letal Genótipo CYO/CYO 1/4 ou 25% letal e fenótipo Genótipo Sco/CYO 2/2 ou 100% Fenótipo 100% Sco/CYO

♂	♀	Sco	CYO
Sco	Sco	Sco/Sco	Sco/CYO
CYO	CYO	Sco/CYO	CYO/CYO

Fonte: O autor (2024).

8ª aula (50 minutos)

Orientações para o professor: essa aula será a continuação da 7ª aula. Os estudantes farão análise no estereomicroscópio dos indivíduos da Geração F1, portadores das mutações que foram escolhidas para serem estudadas (+/+ x MKRS/TM6B); (MKRS/TM6B x MKRS/TM6B) e que ao serem cruzados, originaram nos indivíduos da Geração F1, as características fenotípicas que serão analisadas no estereomicroscópio e discutidas nessa 7ª aula. Os resultados esperados nessa Geração F1 são os seguintes: (ver quadro de Punnett). Após a análise das características escolhidas e trabalhadas, os estudantes deverão responder ao questionário abaixo. As respostas dos estudantes possibilitarão ao professor avaliar o nível de compreensão dos estudantes sobre o assunto. É importante também que o professor observe o nível de interesse e engajamento dos estudantes durante a realização das atividades previstas nas seis aulas dessa sequência de atividades. O envolvimento dos alunos na realização das atividades permitirá uma avaliação qualitativa das atividades propostas.

Quadro 3 — Genótipo 2/4 ou 50% MKRS/+ Genótipo 2/4 ou 50% TM6B/+ Fenótipo 2/4 ou 50% MKRS Fenótipo 2/4 ou 50% TM6B

♂ ♀	MKRS	TM6B
+	MKRS/+	TM6B/+
+	MKRS/+	TM6B/+

Fonte: O autor (2024).

Quadro 4 — Genótipo MKRS/MKRS 1/4 ou 25% letal Genótipo TM6B/TM6B ¼ ou 25% letal e fenótipo Genótipo MKRS/TM6B 2/2 ou 100% Fenótipo 100% MKRS/TM6B

♂ ♀	MKRS	TM6B
MKRS	MKRS/MKRS	MKRS/TM6B
TM6B	MKRS/TM6B	TM6B/TM6B

Fonte: O autor (2024).

Os estudantes responderão as seguintes questões:

1. As características presentes na Geração Parental apareceram na Geração F1? Por que isso aconteceu?

2. Os indivíduos da geração F1 possuem as mesmas combinações de características que os indivíduos da Geração Parental?

3. Como se explica a combinação de características presente nos indivíduos da geração F1?

Espera-se que seja possível perceber como as características são transmitidas ao longo das gerações, ou seja, como as mutações genéticas do cromossomo II de *D. melanogaster* se segregam independente durante a formação dos gametas na Geração Parental e produzem características fenotípicas que se combinam de diferentes maneiras nos indivíduos da Geração F1 em comparação às características fenotípicas da Geração Parental que os originou.

APÊNDICE E — SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ALUNO TEMA: ENSINO DE MUTAÇÕES GÊNICAS E HERANÇA DE GENÉTICA CLÁSSICA A PARTIR DE ATIVIDADES INVESTIGATIVAS BASEADAS EM UM MODELO ANIMAL: *Drosophila melanogaster*

Conceitos de mutação genética e herança genética mendeliana mediante abordagem investigativa em aulas teóricas e práticas com *Drosophila melanogaster* (moscas das frutas).

Objetivos

Realizar cruzamentos entre *Drosophila melanogaster* com as mutações Sco/CYO x *Drosophila melanogaster* tipo selvagem +/+; *Drosophila melanogaster* tipo selvagem +/+ x *Drosophila melanogaster* com as mutações MKRS/TM6B) e avaliar a progênie com os estudantes relacionando a transmissão dessas características mutantes com a 2ª Lei de Mendel;

Realizar cruzamentos entre *Drosophila melanogaster* com as mutações Sco/CYO x *Drosophila melanogaster* Sco/CYO; *Drosophila melanogaster* com as mutações MKRS/TM6B x *Drosophila melanogaster* com as mutações MKRS/TM6B e avaliar a progênie com os estudantes relacionando a transmissão dessas características mutantes com a 2ª Lei de Mendel e a ocorrência de letalidade;

Descrever as características fenotípicas resultantes do cruzamento realizados com *Drosophila melanogaster*;

Compreender como as características fenotípicas surgem em um indivíduo e como são transmitidas ao longo das gerações;

Conhecer as características dos insetos e relaciona-las a sua classificação.

A presente sequência didática apresenta uma sequência de atividades que tem como finalidade instigar os alunos a responderem à questão motivadora que se segue abaixo. Ao responderem à questão mediante a realização das atividades propostas nessa sequência, espera-se que os objetivos elencados, visando uma melhor compreensão de genética, sejam atingidos.

Como as mutações genéticas são transmitidas ao longo das gerações e como produzem características fenotípicas em um indivíduo?

1ª aula (50 minutos)

Os estudantes terão acesso a questão investigativa e formularão hipóteses a fim de respondê-la. Os estudantes, com orientação do professor estabelecerão os cruzamentos da Geração Parental, colocando as moscas com as características desejadas para o estudo,

dentro dos vials para que se reproduzam e deem origem a Geração F1 que será analisada na sétima e oitava aula dessa sequência didática.

Em seguida, os estudantes, sob orientação do professor, farão a análise no estereomicroscópio, dos indivíduos da Geração Parental, portadores das mutações que foram escolhidas para serem estudadas. Essa etapa demanda muito tempo e precisará ter continuação na segunda aula. O conteúdo dessa aula abordará a 2ª Lei de Mendel (transmissão de duas ou mais características ao mesmo tempo). Os estudantes farão a análise no estereomicroscópio dos indivíduos da Geração Parental, portadores das mutações que foram escolhidas para serem estudadas (Sco/CYO x +/+); (Sco/CYO x Sco/CYO); (+/+ x MKRS/TM6B); (MKRS/TM6B x MKRS/TM6B) e que ao serem cruzados, originarão nos indivíduos da Geração F1, as características fenotípicas que serão analisadas no estereomicroscópio e discutidas na 7ª aula.

2ª aula (50 minutos)

O conteúdo dessa aula abordará a 2ª Lei de Mendel (transmissão de duas ou mais características ao mesmo tempo). Os estudantes farão a análise no estereomicroscópio dos indivíduos da Geração Parental, portadores das mutações que foram escolhidas para serem estudadas (Sco/CYO x +/+); (Sco/CYO x Sco/CYO); (+/+ x MKRS/TM6B); (MKRS/TM6B x MKRS/TM6B) e que ao serem cruzados, originarão nos indivíduos da Geração F1, as características fenotípicas que serão analisadas no estereomicroscópio e discutidas na 6ª aula.

3ª aula (50 minutos)

Nessa terceira aula será aplicado um questionário para verificação do conhecimento prévio sobre as características morfológica, a clarificação dos insetos, mutações genéticas e herança genética.

Questionário para levantamento prévio dos estudantes

1. Sobre os insetos, a qual classe eles pertencem?

2. Em quantas partes o corpo dos insetos é dividido? Quais são elas?

3. Quantos pares de pernas há nos insetos?

4. Quantos pares de antenas há nos insetos?

5. As asas sempre estão presentes nos insetos?

6. O que são mutações genéticas?

7. Há diferença entre genótipo e fenótipo? Qual?

8. Como um fenótipo surge em um indivíduo de uma espécie?

9. Um fenótipo pode ser transmitido para os descendentes? De qual maneira isso ocorre?

4ª aula (50 minutos)

Será disponibilizado para os alunos, o texto que se segue abaixo sobre a história das *D. melanogaster*. O referido texto, tem por finalidade, despertar a curiosidade dos alunos sobre como os estudos desenvolvidos com as moscas das frutas tem contribuído para o desenvolvimento do conhecimento científico, especialmente a genética.

Mosca-da-fruta é arma para desvendar os grandes mistérios da vida

A mosca-da-fruta, ou *Drosophila melanogaster*, seu nome científico, vem sendo estudada há mais de cem anos.

Sim, moscas-das-frutas gostam de bananas. Você as encontra na cesta quando as frutas começam a estragar.

Mas elas também são um ótimo mecanismo para investigar o tempo ou, mais especificamente, os efeitos do tempo. Isso porque o ciclo de vida delas é tão curto que permite estudá-las por gerações e gerações, o que é quase impossível com humanos.

Elas custam pouco e se reproduzem de maneira extremamente rápida. Em temperatura ambiente, uma fêmea pode botar de 30 a 50 ovos por dia durante sua vida. O

ciclo reprodutivo é curto, de 8 a 14 dias, e essas moscas podem se tornar avós e avôs em apenas 3 a 4 semanas.

Com três milímetros de tamanho, populações de milhões desses insetos podem ser mantidas em um laboratório e sustentadas com uma dieta simples de carboidratos e proteínas, geralmente farinha de milho e extratos de levedura.

Em 1933, Thomas Hunt Morgan ganhou um prêmio Nobel por estudar como a *Drosophila* recebia de herança uma mutação genética que deixava seus olhos brancos, e não vermelhos.

A pesquisa de Morgan levou à teoria sobre genes produzidos pelo DNA serem carregados por cromossomos, que eram transmitidos por gerações. A descoberta preparou o terreno para a genética moderna e o estudo da teoria cromossômica da herança.

Desde então, estudos conduzidos nessas moscas levaram a cinco premiações no Nobel, em 1946, 1995 e 2011. Conhecimento atual sobre como nos desenvolvemos, nosso comportamento, envelhecimento e evolução todos são construídos sobre a base dessas pesquisas com moscas-da-fruta.

E quanto mais as estudamos mais descobrimos que somos parecidos: 75% dos genes associados a doenças humanas têm um correspondente identificável na mosca-da-fruta.

A *Drosophila* tem quatro pares de cromossomos e cerca de 14 mil genes. Compare isso com os humanos, que têm cerca de 22,5 mil genes, e a levedura, com 5,8 mil genes, e somos muito mais parecidos do que você possa imaginar.

Essa proximidade genética relativa significa que experimentos com *Drosophila* podem ser traduzidos de maneira efetiva para humanos. Deixamos as moscas bêbadas para estudar o vício ao álcool, investigamos o sono delas e como são afetadas pelo café e descobrimos que moscas mais velhas dormem menos.

Os primeiros genes do "jet lag" foram identificados em moscas, e hoje sabemos que também os temos.

Milhares de cientistas usam *Drosophila* como um organismo modelo pelo mundo, e até fora do planeta. Moscas-da-fruta foram os primeiros animais lançados ao espaço e há um laboratório permanente de moscas-da-fruta na Estação Espacial Internacional. O espaço serve para estudar coisas como por que astronautas são mais suscetíveis a doenças enquanto estão no espaço.

Por que então, se somos tão próximos geneticamente, somos diferentes das moscas e até das leveduras em um monte de outras coisas?

Terceiro segredo' da vida

Peter Lawrence, autor do livro *The Making of the Fly* (A Construção da Mosca, em tradução livre), descreve isso como o "terceiro segredo da vida".

Em entrevista à BBC, ele contou que o primeiro segredo é a teoria da evolução de Charles Darwin, que "descreve a gênese de todas as plantas e animais, de tudo, desde o começo".

"A segunda é a descoberta do DNA, porque sem entender como essa informação é codificada e armazenada nessa molécula não saberíamos muito sobre o mecanismo que está por trás da vida", afirma.

O terceiro segredo é uma pergunta que Lawrence vê como o maior desafio colocado aos biólogos do futuro.

"É algo tão cotidiano que nem pensamos a respeito. O que difere um rinoceronte de um hipopótamo?", ele diz.

"Quando você olha para os genes, não há muita diferença. Então o que produz os padrões e tudo mais? Onde o tamanho do seu nariz está especificado? O que faz as crianças se parecerem com os pais, o que determina o formato de um rosto? Nós não sabemos. Esse, para mim, é o grande problema sem solução na biologia, e que chamo de 'terceiro segredo da vida'."

É um assunto que cientistas já tentaram investigar. Moscas com asas maiores foram analisadas, por exemplo, para tentar isolar os genes responsáveis pelo aumento de tamanho. Pesquisadores compararam espécies com relação evolutiva semelhante e examinaram as diferenças que conduziram a morfologias distintas.

Mas, de acordo com Lawrence, esses estudos são importantes por ajudarem a encaixar peças nesse quebra-cabeça. Só que há ainda um longo caminho até desvendarmos o "grande mistério", e ainda precisamos torná-lo um foco maior de pesquisa.

"Se você olhar para todo o universo da ciência você uma grande área escura, e se olhar mais perto verá alguns pontos bem iluminados aqui e acolá, e em cada um há pesquisadores discutindo entre si, mas eles não olham para fora dessas janelas para imaginar o que possa estar lá", diz o cientista.

Quaisquer sejam as respostas, afirma Lawrence, elas provavelmente serão descobertas estudando as boas e velhas moscas-das-frutas.

(Esse texto pode ser encontrado no site <https://www.bbc.com/portuguese/vert-earth-37014344>)

5ª aula (50 minutos)

O conteúdo dessa aula abordará mutações gênicas. Será disponibilizado para os alunos o texto que se segue abaixo sobre mutações genéticas a fim de que possam compreender o conceito de mutação genética.

Mutações Gênicas: Definição e Importância

Ao imaginarmos o DNA pensamos muitas vezes em uma molécula estável e de replicação extremamente eficiente. No entanto, um olhar mais atento nos mostrará que, por vezes, algumas sequências de nucleotídeos desta incrível molécula da vida podem ser alteradas de forma natural ou não, processo que chamamos de mutação gênica.

Mutações gênicas são modificações nos nucleotídeos de DNA (A, T, C e G) de um organismo. É o processo pelo qual os genes mudam de uma forma alélica para outra, portanto, as mutações são consideradas fonte de variabilidade genética. Embora a maioria das mudanças no DNA leve a efeitos ruins, a mutação gênica é vital para a evolução. Caso não ocorresse mutação, o material genético primordial ainda estaria igual e, possivelmente, ainda seríamos bactérias primitivas. A mutação fornece novas combinações genéticas, sendo a matéria prima para a evolução. É sobre a variabilidade gerada pelas mutações e pela recombinação que opera a seleção natural, permitindo que as populações evoluam e se adaptem aos mais diversos tipos de ambientes. Embora as mutações sejam muito importantes para a adaptação e evolução das populações e espécies, devemos ter em mente que estas não ocorrem para benefício de um organismo em uma determinada situação. As mutações simplesmente ocorrem e são filtradas pela seleção natural, de modo que permanecem apenas as adaptativas.

Como Surgem as Mutações?

Dependendo da sua origem, as mutações gênicas podem ser classificadas como espontâneas ou induzidas. Mutações espontâneas são aquelas que ocorrem naturalmente, sem uma causa aparente. As mutações induzidas são aquelas que aparecem em decorrência da utilização de agentes mutagênicos.

Entre as mutações espontâneas podemos citar a depurinação e a desaminação. No primeiro caso uma base púrica (A ou G) de um nucleotídeo é perdida, gerando um sítio apurínico. Assim, durante a replicação do DNA, esse sítio não pode atuar como molde na formação da fita complementar. Como consequência, um nucleotídeo qualquer é incorporado como complementar ao sítio apurínico, geralmente ocorrendo a incorporação de uma adenina. A desaminação consiste na perda de um grupo amino (NH₂) de uma base nitrogenada. Essa modificação química altera o padrão de pareamento, por exemplo, a

desaminação da citosina faz com que ela se comporte como uma uracila e forme par com a adenina durante a replicação.

Uma mutação pode ser induzida por análogos de bases. Estas são substâncias que tem uma estrutura química similar a uma das bases nitrogenadas do DNA. Devido a tal similaridade, a DNA polimerase não consegue distinguir entre a base correta do DNA e o análogo, podendo incorporar erroneamente este último durante a replicação do DNA. Um exemplo de análogo de bases é o 5-bromouracil (5BU), um análogo da timina, que pode ser incorporado em seu lugar durante a replicação. O análogo normalmente parecia com a adenina, mas às vezes pode parear com a guanina levando a erros nas replicações que seguem a sua incorporação.

As mutações também podem ser induzidas pelos chamados agentes alquilantes. Estas substâncias doam grupos alquila metil (CH_3) e etil ($\text{CH}_3\text{-CH}_2$) para as bases nitrogenadas, modificando seus padrões naturais de pareamento durante a replicação do DNA. Um exemplo de substância alquilante é o etilmetilsulfonato (EMS), o qual doa um grupo etil para a guanina, de modo que esta forma par com timina. O EMS também adiciona um grupamento etil na timina, provocando o seu pareamento com a guanina.

A desaminação pode ocorrer de forma espontânea, como dito anteriormente, ou ser induzida. Algumas substâncias produzem desaminação, um exemplo é o ácido nitroso que desamina a citosina convertendo-a em uracila. Durante a replicação esta uracila pareará com a adenina. O ácido nitroso também desamina a guanina, produzindo um nucleotídeo com a base xantina, o qual pode parear com a timina.

Outra substância que induz mutações é a Hidroxilamina, responsável por adicionar grupos hidroxila às citosinas. Esta alteração química produz uma estrutura rara da citosina, de modo que durante a replicação esta parecia com a adenina.

Outras substâncias que ocasionam mutações são os agentes intercalantes, os quais se intercalam dentro da dupla fita de DNA, causando inserções e deleções. Exemplos de substâncias intercalantes são a proflavina, a acridina laranja, a dioxina e o brometo de etídio.

As mutações também podem ser geradas por radiações, exemplos são os raios X, que podem quebrar o DNA em fita simples ou dupla e a luz ultravioleta, que pode promover a formação de dímeros de pirimidinas (pareamento de timina-timina, citosina- citosina ou timinacitosina). Esses dímeros distorcem a dupla fita de DNA e bloqueiam a replicação até serem consertados pelos mecanismos de reparo.

Onde Ocorrem as Mutações?

Nos organismos multicelulares podemos encontrar dois grandes tipos de células, as somáticas e as gaméticas (germinativas). As primeiras apresentam a mitose como mecanismo de divisão celular, já as células germinativas se dividem, principalmente, por meiose. Desta forma, dependendo do tipo celular onde ocorrem, podemos classificar as mutações em somáticas e gaméticas. Assim, as mutações somáticas são as que ocorrem nas células somáticas e se espalham por mitose em um organismo. Este tipo de mutação é importante porque pode desencadear o câncer. As mutações gaméticas surgem nas células que originam gametas e podem ser transmitidas, podendo se expressar na linhagem somática da próxima geração. Desta forma, as mutações em células germinativas são muito importantes para a evolução.

Como se Classificam as Mutações?

Em relação a sua natureza molecular podemos classificar as mutações em substituições, inserções e deleções. As substituições consistem na troca de um nucleotídeo por outro. Podem ser de dois tipos: Transições ou Transversões. Nas transições uma purina é trocada por outra purina, ou uma pirimidina por outra pirimidina. Nas transversões uma purina é trocada por uma pirimidina ou vice-versa.

As inserções e deleções consistem na adição ou deleção de um ou alguns nucleotídeos. O principal problema desses tipos de mudanças é que afetam a matriz de leitura. Os nucleotídeos do RNA mensageiro são lidos de três em três durante a tradução. Quando adicionamos ou deletamos nucleotídeos a matriz de leitura muda do ponto da adição ou deleção até o códon de parada. Assim, este tipo de mutação poderá mudar a sequência de aminoácidos desde o ponto onde ocorre a mutação até o códon de parada da tradução. Caso a inserção ou deleção for de três, ou múltiplos de três nucleotídeos, a mudança será menor, podendo afetar somente os códons que perderam ou ganharam nucleotídeos, mas não se estenderá até o códon de parada da tradução.

As mutações ocorrem ao nível molecular e nem sempre apresentam efeitos fenotípicos. Quando não ocorre mudança no fenótipo, a mutação causa apenas uma alteração no nucleotídeo e não gera uma mudança no aminoácido da proteína. Isso se deve ao fato de que vários aminoácidos são codificados por mais de um códon (código genético degenerado). As mutações que mudam os nucleotídeos e não mudam o aminoácido são chamadas de silenciosas. A seguir as mutações serão classificadas de acordo com suas consequências sobre o fenótipo.

O efeito fenotípico da mutação é observado na comparação de um indivíduo mutante com outro indivíduo sem a mutação, chamado de selvagem (Figura 1). Quando

observamos que o fenótipo mutante é diferente do selvagem a mutação é chamada de direta. Às vezes o mutante muta novamente e restaura o fenótipo selvagem. Neste caso a nova mutação recupera o nucleotídeo original e restaura o mesmo aminoácido. Há também as mutações supressoras, neste caso a mudança não reverte o estado molecular selvagem, mas esconde ou suprime o efeito fenotípico da mutação direta. A mutação supressora não anula o que aconteceu na primeira mutação, mas, devido a uma segunda mutação, os efeitos da primeira são anulados.

Figura 1 — *Drosophila melanogaster*. Mosca com fenótipo selvagem.



Fonte: Imagens do Atlas of *Drosophila* Morphology.

As mutações de substituição também podem ter um efeito fenotípico se causarem mudanças no aminoácido, sendo chamadas de mutações não silenciosas (Tabela 1). Às vezes o novo aminoácido não afeta a função da proteína, nesse caso a substituição não silenciosa é considerada neutra. Outras vezes a mutação não silenciosa leva a perda da função da proteína, nesse caso a mutação é chamada de perda de função. Há também mutações não silenciosas onde é gerada uma nova função para um gene, são as mutações de ganho de função.

A mudança de nucleotídeo também pode originar um códon de parada antes do observado na forma selvagem, nesse caso essa substituição é chamada de mutação de parada (Figura 5).

Outras mutações com efeito fenotípico são as condicionais, nas quais o fenótipo mutante aparece em determinadas condições, por exemplo, a temperaturas acima de 28°C ocorre o fenótipo mutante, mas abaixo dessa temperatura se expressa o fenótipo selvagem.

Finalmente, temos as mutações letais, onde o indivíduo não nasce devido à presença de uma mutação.

(Texto retirado do livro *Genética Geral Para Universitários*, editora universitária da UFRPE, 1ª edição, 2015).

6ª aula (50 minutos)

Nesta aula, foram trabalhadas as características fenotípicas da classe *Insecta*. Os estudantes deverão ler o texto abaixo sobre os insetos, observar as imagens e responder ao questionário acerca das características fenotípicas que caracterizam a classe *insecta* e a diferencia das demais classes que aloca os demais animais.

Como saber se é um inseto?

Os insetos, os escorpiões, as aranhas, os caranguejos, os carrapatos, os camarões e alguns mais pertencem ao filo Arthropoda, isto é, aqueles que possuem apêndices articulados (do grego “arthro”= articulado; “pous, podos” = pés). Eles podem variar muito de tamanho, desde partes do milímetro até cerca de 20cm.

Os insetos têm o corpo dividido em 3 partes, cabeça, tórax e abdome. Na cabeça têm 1 par de antenas, um par de olhos (chamados olhos compostos) e uma boca que, dependendo do inseto, pode mastigar, lamber ou sugar. No tórax têm 3 pares de pernas articuladas e a maioria tem asas.

Os insetos possuem simetria bilateral – o lado esquerdo é semelhante ao direito. Possuem um esqueleto externo que durante o crescimento de suas fases é trocado até chegar a adulto. O adulto não cresce mais.

Todo inseto nasce a partir de um ovo. Do ovo até chegar à fase adulta, o ciclo de vida, em geral, pode sofrer pequenas, médias ou grandes transformações, conhecidas como metamorfose – palavra de origem grega que significa “mudança de forma”. As transformações podem ser:

- Sem metamorfose: o inseto, ao sair do ovo é uma ninfa, muda de pele várias vezes, cresce a cada mudança, mas não difere dos adultos, que são diferentes das ninfas apenas por possuírem órgãos sexuais. Os adultos deste grupo não possuem asas. Ninfas e adultos vivem no mesmo tipo de ambiente e têm os mesmos tipos de alimentação. Exemplo: traça dos livros.

- Metamorfose gradual: o inseto ao sair do ovo é uma ninfa que, à medida que cresce e muda de pele várias vezes, fica cada vez mais parecida com o adulto; nos últimos estádios aparecem vestígios das futuras asas. Os adultos deste grupo têm geralmente dois pares de asas (alguns não têm) e órgãos sexuais desenvolvidos. Ninfas e adultos vivem no mesmo tipo de ambiente e têm o mesmo tipo de alimentação. Exemplo: baratas, gafanhotos, barbeiros, piolhos e percevejos de plantas.

- Metamorfose incompleta: o inseto ao sair do ovo é uma ninfa totalmente diferente do adulto; muda de pele algumas vezes e cresce. Toda essa fase é vivida na água; portanto,

as ninfas vivem em ambientes diferentes do adulto, que é terrestre, possui dois pares de asas e vive ativamente. Exemplo: libélulas, lavadeiras, efemérides.

- **Metamorfose completa:** o inseto ao sair do ovo é uma larva vermiforme que, depois de várias mudanças de pele, cresce e se transforma numa pupa. As larvas nunca são parecidas com os adultos; vivem em ambientes totalmente diferente deles e sua alimentação também é diferente. A pupa geralmente é imóvel, mas nunca se alimenta. Os adultos possuem órgãos sexuais desenvolvidos e, dependendo do grupo, podem ser ápteros (as pulgas), com um par de asas (moscas e mosquitos) ou com dois pares de asas (besouros, borboletas e marimbondos).

Classificação

Desde o início da civilização, quando os homens começaram a dar nomes às plantas e aos animais que utilizavam para alimentação, vestuários e remédios, foi sentida a necessidade de fazer uma classificação dos animais e das plantas e a ideia foi evoluindo entre os povos.

Foi o naturalista sueco Carl Linnaeus que, em 1735, organizou os critérios para os nomes científicos de plantas e animais, o que facilitou o trabalho das pessoas que estudam os seres vivos, evitando que o mesmo animal ou planta tivessem vários nomes diferentes.

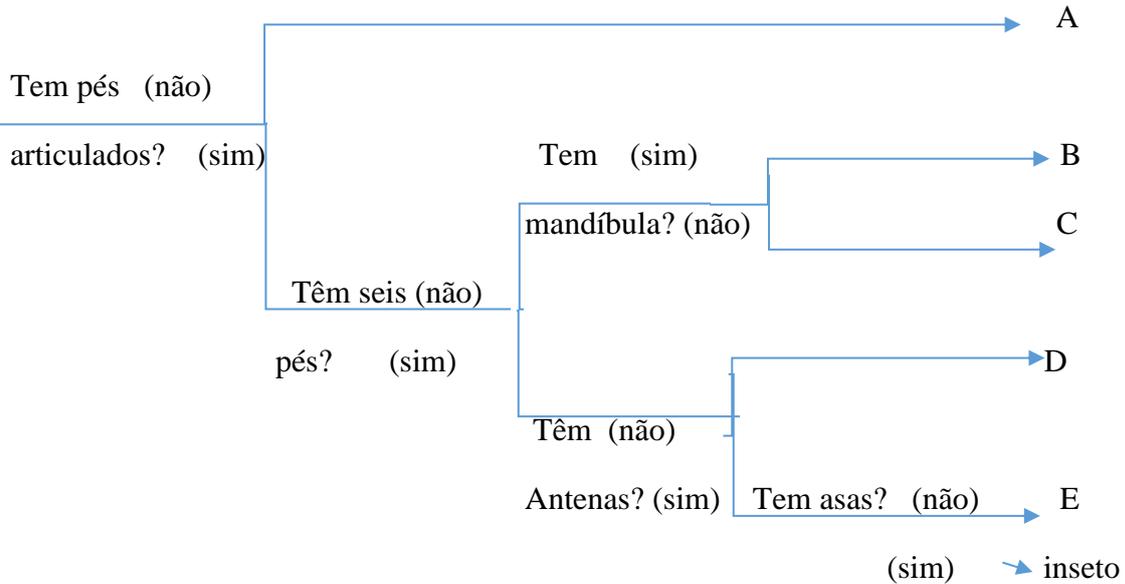
Hoje, as plantas, os animais, os fungos, os protoctistas, as bactérias e as arqueas são classificados em diferentes categorias: reino, filo, classe, ordem, família, gênero, espécie.

Tabela 1. Classificação taxonômica da mosca das frutas e da espécie humana.

Classificação	Mosca das frutas	Homem
Reino	<i>Animal</i>	<i>Animal</i>
Filo	<i>Arthropoda</i>	<i>Chordata</i>
Classe	<i>Insecta</i>	<i>Mammalia</i>
Ordem	<i>Diptera</i>	<i>Primata</i>
Família	<i>Drosophilidae</i>	<i>Hominidae</i>
Gênero	<i>Drosophila.</i>	<i>Homo</i>
Espécie	<i>Drosophila melanogaster</i>	<i>Homo sapiens</i>

Fonte: O autor (2024).

A fim de identificar se um animal é um inseto responda as questões da chave dicotômica abaixo.

Figura 2 - Chave dicotômica para a identificação de insetos.

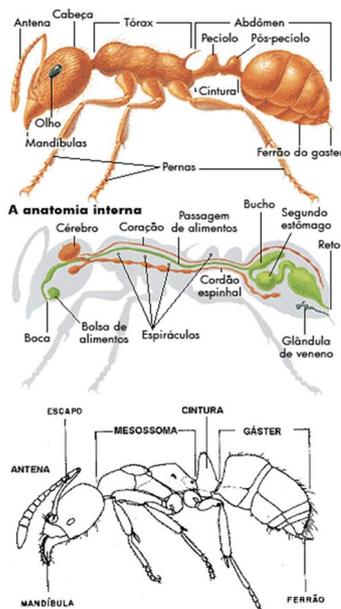
Fonte: O autor (2024).

Observação: Se o animal que você pretende saber se é um inseto, preenche as características da chave dicotômica abaixo, isto é, se você respondeu sim as questões da chave dicotômica, então ele é um inseto.

Atividade 1

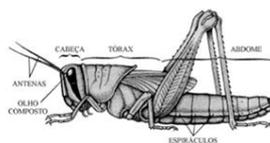
Observe as imagens abaixo:

Figura 3. A - Esquema de anatomia de uma formiga. B - Foto de uma borboleta monarca. C - Esquema de anatomia de um gafanhoto.



B

Fonte: https://images.google.com/?hl=xx-elmer&gws_rd=ssl



C

Fonte: <http://setimocientista.blogspot.com> (2024).

A

Fonte: (<http://cencaestamosnos.blogspot.com/2013/06/formigas.html>2024).

1. Em quantas partes o corpo desse táxon de animais é dividido? Quais são elas?

2. Quantos pares de pernas há no tórax?

3. Quantos pares de antenas há nesse táxon de animais?

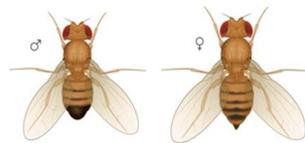
4. As asas sempre estão presentes nesse táxon de animais?

Atividade 2

Nesta atividade, os estudantes observarão diversas imagens, a fim de diferenciar o gênero, macho e fêmea comparar o fenótipo selvagem com os fenótipos mutantes (*Sco/CyO*; *MKRS/TM6B*) que serão trabalhados na aula prática.

Observe a imagem abaixo:

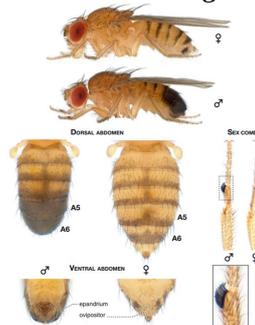
Figura 6 — Esquema de moscas *Drosophila melanogaster* mostrando as diferenças fenotípicas entre macho e fêmea.



Fonte: Imagens do Atlas of Drosophila Morphology).

Observe a imagem abaixo:

Figura 7 — Dimorfismo sexual em *Drosophila melanogaster*.

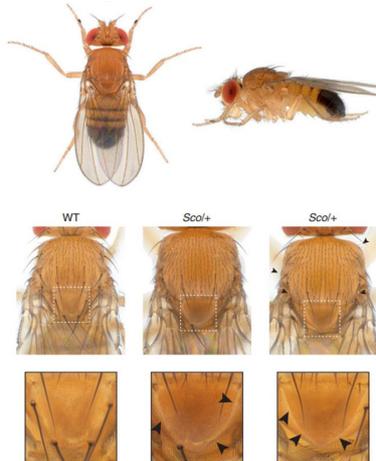


Fonte: Imagens do Atlas of Drosophila Morphology.

1ª questão: Quais são as diferenças fenotípicas entre macho e fêmea?

Observe a imagem abaixo:

Figura 8 — *Scutoid* tipo selvagem com quarto cerdas e *Scutoid* com a mutação *Sco* sem cerdas

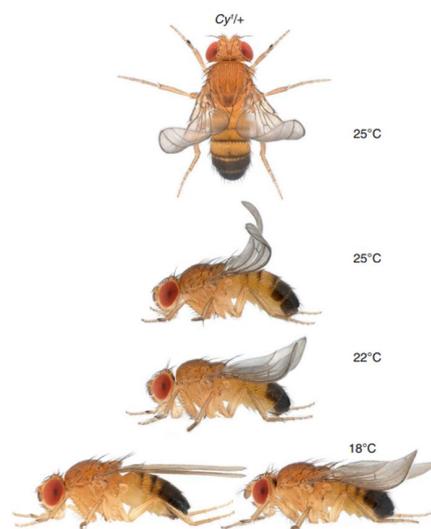


Fonte: Imagens do Atlas of Drosophila Morphology.

2ª questão: Qual é a diferença fenotípica entre o tipo selvagem e o portador da mutação *scutoid*?

Observe a imagem abaixo:

Figura 9 — *Drosophila melanogaster* mostrando as diferenças fenotípicas entre o tipo selvagem e o portador do fenótipo *CYO* que apresenta asas curvas em comparação ao tipo selvagem com asas retas.

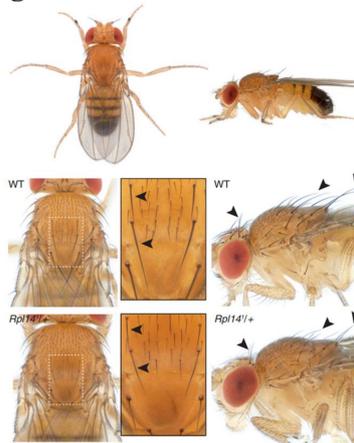


Fonte: Imagens do Atlas of Drosophila Morphology.

3ª questão: Qual é a diferença fenotípica entre o tipo selvagem e o portador da mutação curly (CyO)?

Observe a imagem abaixo:

Figura 10 — *Drosophila melanogaster* mostrando as diferenças fenotípicas entre o tipo selvagem e o portador da mutação MKRS que apresenta cerdas mais curtas e mais grossas em comparação com o tipo selvagem.

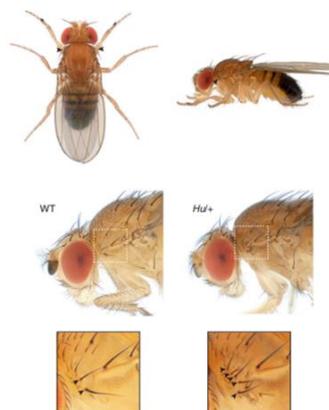


Fonte: Imagens do Atlas of Drosophila Morphology

4ª questão: Qual é a diferença fenotípica entre o tipo selvagem e o portador da mutação MKRS?

Observe a imagem abaixo:

Figura 11 — *Drosophila melanogaster* mostrando as diferenças fenotípicas entre o tipo selvagem e o portador da mutação TM6B que apresenta cerdas extras no úmero em comparação com o tipo selvagem.



Fonte: Imagens do Atlas of Drosophila Morphology.

4ª questão: Qual é a diferença fenotípica entre o tipo selvagem e o portador da mutação TM6B?

7ª aula (50 minutos)

Nessa aula serão analisados os resultados dos cruzamentos feitos na 1ª aula. Os estudantes farão análise no estereomicroscópio dos indivíduos da Geração F1. Os resultados esperados nessa Geração F1 são os seguintes: (quadro de Punnett).

Quadro 1 — Genótipo 2/4 ou 50% Sco/+ Genótipo 2/4 ou 50% CYO/+ Fenótipo 2/4 ou 50% Sco Fenótipo 2/4 ou 50% CYO

♂	♀	Sco	CYO
Sco		Sco/Sco	Sco/CYO
CYO		Sco/CYO	CYO/CYO

Fonte: O autor (2024).

Quadro 2 — Genótipo Sco/+Sco 1/4 ou 25% letal Genótipo CYO/CYO ¼ ou 25% letal e fenótipo Genótipo Sco/CYO 2/2 ou 100% Fenótipo 100% Sco/CYO

♂	♀	Sco	CYO
+		Sco/+	CYO/+
+		Sco/+	CYO/+

Fonte: O autor (2024).

8ª aula (50 minutos)

Essa oitava aula será a continuação da 7ª aula. Os estudantes farão análise no estereomicroscópio dos indivíduos da Geração F1, portadores das mutações que foram escolhidas para serem estudadas (+/+ x MKRS/TM6B); (MKRS/TM6B x MKRS/TM6B) e que ao serem cruzados, originaram nos indivíduos da Geração F1, as características fenotípicas que serão analisadas no estereomicroscópio e discutidas nessa 7ª aula. Os resultados esperados nessa Geração F1 são os seguintes: (ver quadro de Punnett). Após a análise das características escolhidas e trabalhadas, os estudantes deverão responder ao questionário abaixo. As respostas dos estudantes possibilitarão ao professor avaliar o nível de compreensão dos estudantes sobre o assunto. É importante também que o professor observe o nível de interesse e engajamento dos estudantes durante a realização das atividades previstas nas seis aulas dessa sequência de atividades. O envolvimento dos

alunos na realização das atividades permitirá uma avaliação qualitativa das atividades propostas.

Quadro 3 — Genótipo 2/4 ou 50% MKRS/+ Genótipo 2/4 ou 50% TM6B/+ Fenótipo 2/4 ou 50% MKRS Fenótipo 2/4 ou 50% TM6B

♂ ♀	MKRS	TM6B
+	MKRS/+	TM6B/+
+	MKRS/+	TM6B/+

Fonte: O autor (2024).

Quadro 3 — Genótipo MKRS/MKRS 1/4 ou 25% letal Genótipo TM6B/TM6B 1/4 ou 25% letal e fenótipo Genótipo MKRS/TM6B 2/2 ou 100% Fenótipo 100% MKRS/TM6B

♂ ♀	MKRS	TM6B
MKRS	MKRS/MKRS	MKRS/TM6B
TM6B	MKRS/TM6B	TM6B/TM6B

Fonte: O autor (2024).

Os estudantes responderão as seguintes questões:

1. As características presentes na Geração Parental apareceram na Geração F1? Por que isso aconteceu?

2. Os indivíduos da geração F1 possuem as mesmas combinações de características que os indivíduos da Geração Parental?

APÊNDICE F— TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO – TCLE
PARA MAIORES DE 18 ANOS

Eu, _____
_____, nacionalidade _____, idade _____ anos, endereço
_____, RG _____,

estou sendo convidado a participar de um estudo denominado ENSINO DE MUTAÇÕES GÊNICAS E HERANÇA DE GENÉTICA CLÁSSICA A PARTIR DE ATIVIDADES INVESTIGATIVAS BASEADAS EM UM MODELO ANIMAL: *Drosophila melanogaster*, do pesquisador professor Arivonaldo Vaniel da Silva, do Instituto de Ciências Biológicas e da Saúde (ICBS) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL) na turma de Mestrado Profissional em Ensino de Biologia em Rede Nacional (PROFBIO), responsável por sua execução. A seguir, as informações do projeto de pesquisa com relação a sua participação neste projeto:

1. Os objetivos deste projeto são: Realizar estudos baseados em investigação científica utilizando o organismo modelo *Drosophila melanogaster*, visando uma aprendizagem significativa em relação a como mutações gênicas e herança de genética clássica produzem características fenotípicas, bem como produzir uma sequência didática como produto educacional.

Realizar cruzamentos entre *Drosophila melanogaster* com mutações *Scutoid/Curly* (Sco/CYO) x *Drosophila melanogaster* tipo selvagem (+/+) e avaliar a progênie com os estudantes;

Realizar cruzamentos entre *Drosophila melanogaster* com mutações *Scutoid/Curly* (Sco/CYO) x *Drosophila melanogaster* com mutações *Scutoid/Curly* (Sco/CYO) e avaliar a progênie com os estudantes;

Realizar cruzamentos entre animais contendo mutações e balanceadores cromossômicos de *Drosophila melanogaster* visando demonstrar o efeito de mutações letais sobre a progênie;

Relacionar as características fenotípicas resultantes dos cruzamentos realizados com *Drosophila melanogaster* às mutações genéticas;

Analisar os resultados dos cruzamentos utilizando o modelo animal, bem como os impactos no processo de ensino/aprendizagem, planejamento, integração e motivação dos estudantes.

Produzir uma sequência didática como produto educacional.

2. A justificativa desta pesquisa consiste no fato de que o ensino por investigação em ciências, baseia-se na utilização de princípios construtivistas que tenham por finalidade promover a alfabetização científica envolvendo os estudantes de forma ativa, interativa e colaborativa em seu próprio processo de aprendizagem, mediante a formulação de questões e problemas, cuja investigação seja requisito para solucioná-los, coletando, analisando e interpretando dados que possibilitem a formulação e comunicação de conclusões respaldadas em evidências e reflexão em relação a todo processo de investigação. O ensino investigativo baseado em um modelo animal irá promover o aprofundamento no conhecimento científico sobre mutações gênicas e herança de genética clássica e, fornecerá subsídios para refletir, discutir e replanejar a prática de ensino nas instituições que se destinam a essa finalidade.

3. Os pesquisadores envolvidos com o referido projeto são Arivonaldo Vaniel da Silva (mestrando), endereço: Rua Conceição Cardoso, no: 38, bairro Francisco Simão dos Santos Figueira, Garanhuns- PE, telefone celular: (87) 93300-9180, e-mails: arivonaldo.silva@icbs.ufal.br/ aryvonaldovaniel@gmail.com, e Lucas Anhezini de Araujo (Orientador). O endereço do CEP UFAL é: Av. Longitudinal UFAL 1, nº1444, térreo do prédio do Centro de Interesse Comunitário (CIC) entre o SINTUFAL Bairro: Cidade Universitária, CEP: 57.072-900, UF: AL, Município: MACEIO, Telefone: (82)3214-1041, E-mail: cep@ufal.br. A Instituição: Universidade Federal de Alagoas –UFAL está localizada no endereço: Campus A. C. Simões, Cidade Universitária, Maceió-AL, Telefone: (82) 3021-4399, Ponto de referência: Instituto de Ciências biológicas e da Saúde (ICBS), E-mail: profbio@icbs.ufal.br

4. A coleta de dados do projeto terá início em 01 de julho e terminará em 30 de setembro do corrente ano.

5. A coleta de assinatura do TCLE, dos participantes da pesquisa, ocorrerá na ocasião da realização de uma reunião, onde será disponibilizado aos mesmos, o TCLE e será feita uma leitura em voz alta do mesmo, após a leitura, será solicitado que os participantes releiam o TCLE individualmente e exponham eventuais dúvidas sobre o conteúdo do referido termo, caso existam dúvidas, as mesmas serão devidamente esclarecidas, e somente após serem sanadas, será solicitado, aos estudantes que concordarem em participar da pesquisa, a assinatura do TCLE.

6. De acordo com a Resolução CNS 466/12, é garantida a sua plena liberdade de recusar se a participar ou retirar seu consentimento, em qualquer fase da pesquisa, sem penalização alguma.

7. É garantida a manutenção do seu sigilo e da sua privacidade durante todas as fases da pesquisa.

8. Você receberá uma via do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.

9. Você não terá nenhum tipo de despesa relacionada a sua participação nessa pesquisa, mas caso venha a ter qualquer tipo de despesa, você será ressarcido financeiramente com o valor equivalente as suas despesas.

10. Em caso de danos decorrentes da participação na pesquisa, mesmo sem ter sido estabelecido, efetivamente (nexo casual) será restada assistência integral, gratuita e elo temo que for necessário ao participante.

11. Se você tiver dúvidas sobre seus direitos como participante de pesquisa, você pode contatar Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos (CEP) da UFAL, pelo telefone: (82) 3214- 1041. O CEP trata-se de um grupo de indivíduos com conhecimento científicos que realizam a revisão ética inicial continuada do estudo de pesquisa para mantê-lo seguro e proteger seus direitos. O CEP é responsável pela avaliação e acompanhamento dos aspectos éticos de todas as pesquisas envolvendo seres humanos. Este papel está baseado nas diretrizes éticas brasileiras (Res. CNS 466/12 e complementares).

12. Quanto aos riscos: Todas as pesquisas apresentam riscos aos participantes. Em estudos com aplicação de questionários como este, alguns riscos podem ser listados, como desconforto ao responder as perguntas, invasão de privacidade; divulgação de dados confidenciais (registrados no TCLE), tomar o tempo do participante ao responder ao questionário/entrevista, riscos relacionados à divulgação de imagem, quando houver ou registros fotográficos. Dentre as medidas para minimizá-los, podemos exemplificar as seguintes que serão adotadas: serão minimizados desconfortos, garantindo local reservado e liberdade para não responder questões, durante a execução da pesquisa o pesquisador estará atento aos sinais verbais e não verbais de desconforto dos participantes, será assegurada a confidencialidade e a privacidade, bem como, a proteção da imagem e a não

estigmatização, garantindo a não utilização das informações em prejuízo dos estudantes, inclusive em termos de autoestima, de prestígio e/ou econômico – financeiro, será garantido que o estudo será suspenso imediatamente ao perceber algum risco ou danos à saúde do participante da pesquisa, conseqüente à mesma, não previsto no termo de consentimento, será garantido que os dados obtidos na pesquisa serão utilizados exclusivamente para a finalidade prevista no seu protocolo e conforme acordado no TCLE, entre outras.

13. Em relação aos benefícios, as aulas com atividades investigativas terão por finalidade contribuir com a aprendizagem dos estudantes, instigando-lhes a curiosidade e dinamicidade em relação aos objetos de estudos. Ao participarem das atividades investigativas, os sujeitos da pesquisa terão os benefícios a que se propõe o ensino investigativo, que é a promoção da aprendizagem dos objetos de conhecimento em biologia, mediante a reflexão provocada pelas próprias situações de investigação propostas visando o processo de ensino e aprendizagem. Ao finalizar a pesquisa, será publicado um artigo científico sobre os benefícios das atividades de ensino investigativo, bem como, a importância da utilização das mesmas em sala de aula para obter resultados satisfatórios.

A divulgação dos resultados, em mídias e em eventos científicos será realizada garantindo o anonimato de todos participantes da pesquisa a fim de evitar qualquer tipo de exposição e/ou constrangimento, prejuízo moral, baixa autoestima ou financeiro. A divulgação visa atingir a comunidade científica, a sociedade, e principalmente as instituições de ensino que possam aprimorar as suas políticas educativas mediante a aplicação de uma sequência didática que será produzida como produto educacional ao término da pesquisa.

Uma sequência didática é caracterizada pela descrição de um conjunto de atividades definidas, ordenadas, estruturadas e articuladas em um método, a fim de atingir os objetivos previamente definidos a cerca de um conteúdo que será trabalhado em sala de aula, além disso, apresenta ainda, os materiais que serão utilizados durante a execução e a avaliação que será utilizada para verificação da aprendizagem.

14. Eu, tendo compreendido perfeitamente tudo o que me foi informado sobre a minha participação no mencionado estudo e estanco consciente dos meus direitos, das minhas responsabilidades, dos riscos e dos benefícios que a minha participação implica, concordo em participar e ara isso eu dou o meu consentimento sem eu ara isso eu tenha sido forçado ou obrigado.

Garanhuns, 21 de abril de 2023.

Assinatura do participante

Mestrando: Arivonaldo Vaniel da Silva

Professor orientador: Dr. LUCAS ANHEZINI DE ARAUJO

APÊNDICE G — TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO
– TCLE PARA O RESPONSÁVEL

Eu, _____
_____, nacionalidade _____, idade _____ anos, endereço
_____, RG _____,

estou recebendo o presente TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO, que esclarece as condições referentes a realização da pesquisa que o estudante menor de idade, sob minha responsabilidade, será convidado a participar. A referida pesquisa consiste em um estudo denominado ENSINO DE MUTAÇÕES GÊNICAS E HERANÇA DE GENÉTICA CLÁSSICA A PARTIR DE ATIVIDADES INVESTIGATIVAS BASEADAS EM UM MODELO ANIMAL: *Drosophila melanogaster*, do pesquisador professor Arivonaldo Vaniel da Silva, do Instituto de Ciências Biológicas e da Saúde (ICBS) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL) na turma de Mestrado Profissional em Ensino de Biologia em Rede Nacional (PROFBIO), responsável por sua execução. A seguir, as informações do projeto de pesquisa com relação a sua participação neste projeto:

1. Os objetivos deste projeto são: Realizar estudos baseados em investigação científica utilizando o organismo modelo *Drosophila melanogaster*, visando uma aprendizagem significativa em relação a como mutações gênicas e herança de genética clássica produzem características fenotípicas, bem como produzir uma sequência didática como produto educacional.

Realizar cruzamentos entre *Drosophila melanogaster* com mutações *Scutoid/Curly* (Sco/CYO) x *Drosophila melanogaster* tipo selvagem (+/+) e avaliar a progênie com os estudantes;

Realizar cruzamentos entre *Drosophila melanogaster* com mutações *Scutoid/Curly* (Sco/CYO) x *Drosophila melanogaster* com mutações *Scutoid/Curly* (Sco/CYO) e avaliar a progênie com os estudantes;

Realizar cruzamentos entre animais contendo mutações e balanceadores cromossômicos de *Drosophila melanogaster* visando demonstrar o efeito de mutações letais sobre a progênie;

Relacionar as características fenotípicas resultantes dos cruzamentos realizados com *Drosophila melanogaster* às mutações genéticas;

Analisar os resultados dos cruzamentos utilizando o modelo animal, bem como os impactos no processo de ensino/aprendizagem, planejamento, integração e motivação dos estudantes.

Produzir uma sequência didática como produto educacional.

2. A justificativa desta pesquisa consiste no fato de que o ensino por investigação em ciências, baseia-se na utilização de princípios construtivistas que tenham por finalidade promover a alfabetização científica envolvendo os estudantes de forma ativa, interativa e colaborativa em seu próprio processo de aprendizagem, mediante a formulação de questões e problemas, cuja investigação seja requisito para solucioná-los, coletando, analisando e interpretando dados que possibilitem a formulação e comunicação de conclusões respaldadas em evidências e reflexão em relação a todo processo de investigação. O ensino investigativo baseado em um modelo animal irá promover o aprofundamento no conhecimento científico sobre mutações gênicas e herança de genética clássica e, fornecerá subsídios para refletir, discutir e replanear a prática de ensino nas instituições que se destinam a essa finalidade.

3. Os pesquisadores envolvidos com o referido projeto são Arivonaldo Vaniel da Silva (mestrando), endereço: Rua Conceição Cardoso, no: 38, bairro Francisco Simão dos Santos Figueira, Garanhuns- PE, telefone celular: (87) 93300-9180, e-mails:

arivonaldo.silva@icbs.ufal.br/ aryvonaldovaniel@gmail.com, e Lucas Anhezini de Araujo (Orientador). O endereço do CEP UFAL é: Av. Longitudinal UFAL 1, nº1444, térreo do prédio do Centro de Interesse Comunitário (CIC) entre o SINTUFAL Bairro: Cidade Universitária, CEP: 57.072-900, UF: AL, Município: MACEIO, Telefone: (82)3214-1041, E-mail: cep@ufal.br. A Instituição: Universidade Federal de Alagoas –UFAL está localizada no endereço: Campus A. C. Simões, Cidade Universitária, Maceió-AL, Telefone: (82) 3021-4399, Ponto de referência: Instituto de Ciências biológicas e da Saúde (ICBS), Email: profbio@icbs.ufal.br

4. A coleta de dados do projeto terá início em 01 de julho e terminará em 30 de setembro do corrente ano.

5. A coleta de assinatura do TCLE, dos participantes da pesquisa, ocorrerá na ocasião da realização de uma reunião, onde será disponibilizado aos mesmos, o TCLE e será feita uma leitura em voz alta do mesmo, após a leitura, será solicitado que os participantes releiam o TCLE individualmente e exponham eventuais dúvidas sobre o conteúdo do referido termo, caso existam dúvidas, as mesmas serão devidamente esclarecidas, e somente após serem sanadas, será solicitado, aos estudantes que concordarem em participar da pesquisa, a assinatura do TCLE.

6. De acordo com a Resolução CNS 466/12, é garantida a plena liberdade do participante recusar se a participar ou retirar seu consentimento, em qualquer fase da pesquisa, sem penalização alguma.

7. É garantida a manutenção do seu sigilo e da privacidade do participante durante todas as fases da pesquisa.

8. Você receberá uma via do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.

9. Você não terá nenhum tipo de despesa relacionada a sua participação nessa pesquisa, mas caso venha a ter qualquer tipo de despesa, você será ressarcido financeiramente com o valor equivalente as suas despesas.

10. Em caso de danos decorrentes da participação na pesquisa, mesmo sem ter sido estabelecido, efetivamente (nexo casual) será restada assistência integral, gratuita e elo temo que for necessário ao participante.

11. Se você tiver dúvidas sobre seus direitos como participante de pesquisa, você pode contatar Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos (CEP) da UFAL, pelo telefone: (82) 3214- 1041. O CEP trata-se de um grupo de indivíduos com conhecimento científicos que realizam a revisão ética inicial continuada do estudo de pesquisa para mantê-lo seguro e proteger seus direitos. O CEP é responsável pela avaliação e acompanhamento dos aspectos éticos de todas as pesquisas envolvendo seres humanos. Este papel está baseado nas diretrizes éticas brasileiras (Res. CNS 466/12 e complementares).

12. Quanto aos riscos: Todas as pesquisas apresentam riscos aos participantes. Em estudos com aplicação de questionários como este, alguns riscos podem ser listados, como desconforto ao responder as perguntas, invasão de privacidade; divulgação de dados confidenciais (registrados no TCLE), tomar o tempo do participante ao responder ao questionário/entrevista, riscos relacionados à divulgação de imagem, quando houver ou registros fotográficos. Dentre as medidas para minimizá-los, podemos exemplificar as seguintes que serão adotadas: serão minimizados desconfortos, garantindo local reservado e liberdade para não responder questões, durante a execução da pesquisa o pesquisador estará atento aos sinais verbais e não verbais de desconforto dos participantes, será assegurada a confidencialidade e a privacidade, bem como, a proteção da imagem e a não estigmatização, garantindo a não utilização das informações em prejuízo dos estudantes, inclusive em termos de autoestima, de prestígio e/ou econômico – financeiro, será garantido que o estudo será suspenso imediatamente ao perceber algum risco ou danos à

saúde do participante da pesquisa, conseqüente à mesma, não previsto no termo de consentimento, será garantido que os dados obtidos na pesquisa serão utilizados exclusivamente para a finalidade prevista no seu protocolo e conforme acordado no TCLE, entre outras.

13. Em relação aos benefícios, as aulas com atividades investigativas terão por finalidade contribuir com a aprendizagem dos estudantes, instigando-lhes a curiosidade e dinamicidade em relação aos objetos de estudos. Ao participarem das atividades investigativas, os sujeitos da pesquisa terão os benefícios a que se propõe o ensino investigativo, que é a promoção da aprendizagem dos objetos de conhecimento em biologia, mediante a reflexão provocada pelas próprias situações de investigação propostas visando o processo de ensino e aprendizagem. Ao finalizar a pesquisa, será publicado um artigo científico sobre os benefícios das atividades de ensino investigativo, bem como, a importância da utilização das mesmas em sala de aula para obter resultados satisfatórios.

A divulgação dos resultados, em mídias e em eventos científicos será realizada garantindo o anonimato de todos participantes da pesquisa a fim de evitar qualquer tipo de exposição e/ou constrangimento, prejuízo moral, baixa autoestima ou financeiro. A divulgação visa atingir a comunidade científica, a sociedade, e principalmente as instituições de ensino que possam aprimorar as suas políticas educativas mediante a aplicação de uma sequência didática que será produzida como produto educacional ao término da pesquisa.

Uma sequência didática é caracterizada pela descrição de um conjunto de atividades definidas, ordenadas, estruturadas e articuladas em um método, a fim de atingir os objetivos previamente definidos a cerca de um conteúdo que será trabalhado em sala de aula, além disso, apresenta ainda, os materiais que serão utilizados durante a execução e a avaliação que será utilizada para verificação da aprendizagem.

14. Eu, tendo compreendido perfeitamente tudo o que me foi informado sobre a minha participação no mencionado estudo e estanco consciente dos meus direitos, das minhas responsabilidades, dos riscos e dos benefícios que a minha participação implica, concordo em participar e ara isso eu dou o meu consentimento sem eu ara isso eu tenha sido forçado ou obrigado.

Garanhuns, 21 de abril de 2023.

Assinatura do participante

Mestrando: Arivonaldo Vaniel da Silva

Professor orientador: Dr. LUCAS ANHEZINI DE ARAUJO

APÊNDICE H — TERMO DE ASSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO
PARA MENORES DE 18 ANOS DE IDADE

Você está sendo convidado (a) a participar do projeto de pesquisa ENSINO DE MUTAÇÕES GÊNICAS E HERANÇA DE GENÉTICA CLÁSSICA A PARTIR DE ATIVIDADES INVESTIGATIVAS BASEADAS EM UM MODELO ANIMAL: *Drosophila melanogaster*, do pesquisador Professor Arivonaldo Vaniel da Silva.

Seus pais permitiram que você participe.

O presente estudo se destina a desenvolver situações de aprendizagem sobre ENSINO DE MUTAÇÕES GÊNICAS E HERANÇA DE GENÉTICA CLÁSSICA A PARTIR DE ATIVIDADES INVESTIGATIVAS BASEADAS EM UM MODELO ANIMAL: *Drosophila melanogaster* utilizando os conceitos, numa perspectiva que possibilite a você aluno, consolidar novos aprendizados para a compreensão sobre mutações gênicas e herança de genética clássica.

Os estudantes que participarão desta pesquisa são menores de 18 anos de idade.

Você só participa da pesquisa se quiser, é um direito seu e não terá nenhum problema se desistir.

A pesquisa será feita na escola Simoa Gomes, onde os estudantes participarão de uma sequência de 6 aulas teóricas e práticas: 1ª aula, será feita a verificação dos conhecimentos prévios sobre as características morfológica, a clarificação dos insetos, mutações genética e herança genética, mediante a aplicação de questionários. 2ª aula, será disponibilizado para os estudantes, um texto intitulado: Mosca-da-fruta é arma para desvendar os grandes mistérios da vida, a leitura e a discussão sobre o texto, tem por finalidade, motivar os estudantes a estudarem sobre os conhecimentos construídos na área da em genética, a partir dos estudos realizados com esse modelo animal. 3ª aula, será trabalhado um texto intitulado Mutações Gênicas: Definição e Importância, esta atividade tem o propósito de levar os estudantes a compreenderem o conceito de mutação genética. 4ª aula, serão trabalhadas as características da classe *Insecta*. Os estudantes deverão ler o texto abaixo sobre os insetos, observar as imagens e responder ao questionário acerca das características fenotípicas que caracterizam a classe *Insecta* e a diferencia das demais classes que aloca os demais animais. 5ª aula, abordará a 2ª Lei de Mendel (transmissão de duas ou mais características ao mesmo tempo). Os estudantes farão a análise no estereomicroscópio dos indivíduos da Geração Parental, portadores das mutações que foram escolhidas para serem estudadas (Sco/CYO x +/+); (Sco/CYO x Sco/CYO) e que ao serem cruzados, originarão nos indivíduos da Geração F1, as características fenotípicas que serão analisadas no estereomicroscópio e discutidas na 6ª aula, onde os estudantes farão análise no estereomicroscópio dos indivíduos da Geração F1. Após a análise das características escolhidas e trabalhadas, os estudantes deverão responder um questionário.

A sua participação é segura, mas incômodos e riscos da pesquisa existem e podem envolver questões de aversão a contato e/ou visualização de insetos como as moscas que serão utilizadas nesta pesquisa. Nestes casos, você deve procurar e conversar nos telefones (75) 98144-4648 ou (75) 99191-2744 com o pesquisador Arivonaldo Vaniel da Silva. Fica resguardado o direito de escolher continuar sua participação na pesquisa, sem prejuízos pela desistência.

Quanto aos riscos: Todas as pesquisas apresentam riscos aos participantes. Em estudos com aplicação de questionários como este, alguns riscos podem ser listados, como desconforto ao responder as perguntas, invasão de privacidade; divulgação de dados confidenciais (registrados no TCLE), tomar o tempo do participante ao responder ao questionário/entrevista, riscos relacionados à divulgação de imagem, quando houver ou

registros fotográficos. Dentre as medidas para minimizá-los, podemos exemplificar as seguintes que serão adotadas: serão minimizados desconfortos, garantindo local reservado e liberdade para não responder questões, durante a execução da pesquisa o pesquisador estará atento aos sinais verbais e não verbais de desconforto dos participantes, será assegurada a confidencialidade e a privacidade, bem como, a proteção da imagem e a não estigmatização, garantindo a não utilização das informações em prejuízo dos estudantes, inclusive em termos de autoestima, de prestígio e/ou econômico – financeiro, será garantido que o estudo será suspenso imediatamente ao perceber algum risco ou danos à saúde do participante da pesquisa, conseqüente à mesma, não previsto no termo de consentimento, será garantido que os dados obtidos na pesquisa serão utilizados exclusivamente para a finalidade prevista no seu protocolo e conforme acordado no TCLE, entre outras.

Em relação aos benefícios, as aulas com atividades investigativas terão por finalidade contribuir com a aprendizagem dos estudantes, instigando-lhes a curiosidade e dinamicidade em relação aos objetos de estudos. Ao participarem das atividades investigativas, os sujeitos da pesquisa terão os benefícios a que se propõe o ensino investigativo, que é a promoção da aprendizagem dos objetos de conhecimento em biologia, mediante a reflexão provocada pelas próprias situações de investigação propostas visando o processo de ensino e aprendizagem. Ao finalizar a pesquisa, será publicado um artigo científico sobre os benefícios das atividades de ensino investigativo, bem como, a importância da utilização das mesmas em sala de aula para obter resultados satisfatórios.

A divulgação dos resultados, em mídias e em eventos científicos será realizada garantindo o anonimato de todos participantes da pesquisa a fim de evitar qualquer tipo de exposição e/ou constrangimento, prejuízo moral, baixa autoestima ou financeiro. A divulgação visa atingir a comunidade científica, a sociedade, e principalmente as instituições de ensino que possam aprimorar as suas políticas educativas mediante a aplicação de uma sequência didática que será produzida como produto educacional ao término da pesquisa.

Uma sequência didática é caracterizada pela descrição de um conjunto de atividades definidas, ordenadas, estruturadas e articuladas em um método, a fim de atingir os objetivos previamente definidos a cerca de um conteúdo que será trabalhado em sala de aula, além disso, apresenta ainda, os materiais que serão utilizados durante a execução e a avaliação que será utilizada para verificação da aprendizagem.

Você e seus pais /responsáveis serão informados do resultado final do projeto por meio de uma cópia enviada para e-mail de seus pais, mediante divulgação dos resultados para a comunidade escolar e, sempre que desejar, receberá esclarecimentos sobre qualquer etapa deste estudo podendo procurar o pesquisador. Ninguém saberá que você está participando da pesquisa, não falaremos a outras pessoas, nem daremos a estranhos as informações que você nos der. Os resultados da pesquisa vão ser publicados, mas sem identificar os jovens que participaram da pesquisa. Quando terminarmos a pesquisa, esta será apresentada na UFAL (Universidade Federal de Alagoas) para banca examinadora e posteriormente os resultados serão divulgados de modo que a comunidade escolar a que você está inserido possa ter acesso. Se você tiver alguma dúvida, pode perguntar ao pesquisador Arivonaldo Vaniel da Silva.

CONSENTIMENTO PÓS INFORMADO

Eu _____,
aceito participar da pesquisa ENSINO DE MUTAÇÕES GÊNICAS E HERANÇA DE
GENÉTICA CLÁSSICA A PARTIR DE ATIVIDADES INVESTIGATIVAS
BASEADAS EM UM MODELO ANIMAL: *Drosophila melanogaster*, do pesquisador, a
professor Arivonaldo Vaniel da Silva.

Entendi os riscos e os benefícios para a minha participação.

Entendi que posso dizer “sim” e participar, mas que, a qualquer momento, posso
dizer “não” e desistir e não haverá qualquer prejuízo pela minha tomada de decisão.

O pesquisador tirou minhas dúvidas e conversou com os meus responsáveis.

Recebi uma cópia deste termo de assentimento, li e concordo em participar da
pesquisa.

Garanhuns, 21 de abril de 2023.

Mestrando: Arivonaldo Vaniel da Silva

Professor orientador: Dr. Lucas Anhezini De Araujo

APÊNDICE I — DECLARAÇÃO DE CUMPRIMENTO DAS NORMAS DA
RESOLUÇÃO N° 466/12 E 510/16 DE PUBLICIZAÇÃO DOS RESULTADOS E
SOBRE O USO E DESTINAÇÃO DO MATERIAL/DADOS COLETADOS

Eu, Arivonaldo Vaniel da Silva (pesquisador) e Lucas Anhezini de Araujo (orientador), pesquisadores do projeto intitulado ENSINO DE MUTAÇÕES GÊNICAS E HERANÇA DE GENÉTICA CLÁSSICA A PARTIR DE ATIVIDADES INVESTIGATIVAS BASEADAS EM UM MODELO ANIMAL: *Drosophila melanogaster*, ao tempo em que nos comprometemos em seguir fielmente os dispositivos da Resolução 466/12 do Conselho Nacional de Saúde/MS, asseguramos que os resultados da presente pesquisa serão tornados públicos sejam eles favoráveis ou não, bem como declaramos que os dados coletados para o desenvolvimento do projeto questionários e fotos serão utilizados para registrar a realização das atividades e avaliar a aprendizagem dos estudantes e, após conclusão da pesquisa, serão destruídos.

Maceió, 21 de abril de 2023.

Mestrando: Arivonaldo Vaniel da Silva

Professor orientador: Dr. Lucas Anhezini de Araujo

Anexo A - Folha de aprovação do comitê de ética.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE
ALAGOAS



Continuação do Parecer: 6.217.575

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

MACEIO, 03 de Agosto de 2023

Assinado por:

Carlos Arthur Cardoso Almeida
(Coordenador(a))

Endereço: Av. Longitudinal UFAL 1, n°1444,terreo do prédio do Centro de Interesse Comunitário (CIC) entre o SINTUFAL
Bairro: Cidade Universitária **CEP:** 57.072-900
UF: AL **Município:** MACEIO
Telefone: (82)3214-1041 **E-mail:** cep@ufal.br