



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DA VITÓRIA

JÚLIA ISABELLE FREIRE PERES QUINTAS

**CARTILHA DIDÁTICA COMO FERRAMENTA DE DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA DO
ORGANISMO MODELO *Drosophila melanogaster* (DIPTERA, DROSOPHILIDAE)**

VITÓRIA DE SANTO ANTÃO

2022

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DA VITÓRIA
LICENCIATURA EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

JÚLIA ISABELLE FREIRE PERES QUINTAS

CARTILHA DIDÁTICA COMO FERRAMENTA DE DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA DO ORGANISMO MODELO *Drosophila melanogaster* (DIPTERA, DROSOPHILIDAE)

TCC apresentado ao Curso de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico da Vitória, como requisito para a obtenção do título de Licenciado em Ciências Biológicas.

Orientador(a): Profa. Dra. Ana Cristina Lauer Garcia

VITÓRIA DE SANTO ANTÃO

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Quintas, Júlia Isabelle Freire Peres.

Cartilha didática como ferramenta de divulgação científica do organismo modelo *Drosophila melanogaster* (Diptera, Drosophilidae) / Júlia Isabelle Freire Peres Quintas. - Vitória de Santo Antão, 2022.

50 : il.

Orientador(a): Ana Cristina Lauer Garcia

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico de Vitória, Ciências Biológicas - Licenciatura, 2022.

Inclui referências, apêndices.

1. Difusão científica. 2. Genética. 3. Grupo Morgan. 4. Teoria cromossômica da herança. I. Garcia, Ana Cristina Lauer. (Orientação). II. Título.

370 CDD (22.ed.)

JÚLIA ISABELLE FREIRE PERES QUINTAS

CARTILHA DIDÁTICA COMO FERRAMENTA DE DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA DO ORGANISMO MODELO *Drosophila melanogaster* (DIPTERA, DROSOPHILIDAE)

TCC apresentado ao Curso de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico da Vitória, como requisito para a obtenção do título de Licenciado em Ciências Biológicas.

Aprovado em: 11/10/2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dr^a. Ana Cristina Lauer Garcia (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^a. Dr^a. Cláudia Rohde (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^o. Dr. Martín Alejandro Montes (Examinador Externo)
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Dedico à minha família, que sempre me deram
exemplos de como vencer através dos estudos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família e, em especial, à minha mãe Josenalva e à minha avó Lindinalva, por sempre me apoiarem em todas as minhas decisões, por acalentarem meus choros nos momentos de desespero e por vibrarem comigo todas as minhas conquistas durante estes cinco anos.

À minha orientadora, Ana Cristina Lauer Garcia, que me acolheu desde o segundo período da universidade e, com toda a sua calma e paciência, me guiou em todos os meus passos. És um exemplo de professora e pesquisadora para mim.

Aos amigos que compartilharam perrengues e vitórias comigo na universidade. Em especial, à Cleiton e Erivânia, que além de colegas de sala, se tornaram amigos para toda uma vida. Obrigada por todos os momentos de parceria, por todos os conselhos e por estarem ao meu lado sempre.

Aos integrantes do GPEGE, por me acolherem e fazerem eu me sentir parte da UFRPE, pelas aventuras em campo e por me ajudarem a identificar e contar as milhares de *Drosophilas* no laboratório, sempre acompanhada de boas conversas e músicas.

Agradeço também ao professor Martín Alejandro Montes, por todos os ensinamentos durante esses anos de pesquisa, e à Carlos Henrique Campos, que foi meu braço direito no laboratório, sempre puxando minha orelha quando necessário e me elogiando quando eu fazia tudo certo.

Aos meus professores da universidade, que me ensinaram as belezas da biologia e fizeram com que eu me apaixonasse ainda mais pela docência.

Agradeço à UFPE e a todos que fazem desta universidade o que ela é, que em meio a tantos percalços políticos e à pandemia da COVID-19, continuou se superando e sendo uma universidade incrível, que me proporcionou momentos inesquecíveis.

Finalizo agradecendo à Deus. Sei que tudo que aconteceu até hoje, foi por permissão dele. E sei que ele tem reservado coisas incríveis para mim após a conclusão desta etapa importante na minha vida.

RESUMO

Drosophila melanogaster é uma das espécies mais estudadas pelos pesquisadores e um dos organismos-modelo da ciência. Apesar disso, a importância dessa mosquinha não é muito divulgada nas escolas e para a população em geral. As cartilhas são um dos meios de divulgação científica usados para apresentar conteúdos de forma didática e com leitura prazerosa, combinando textos curtos e com linguagem acessível e ilustrações. Neste trabalho foi produzida uma cartilha científica com o objetivo de divulgar as razões que colocam *D. melanogaster* como um organismo de destaque no cenário científico. A cartilha didática, intitulada “A importância do organismo modelo *Drosophila melanogaster* para os conhecimentos da área da genética”, foi construída no site Canva. Após a elaboração, a cartilha foi convertida para o formato PDF e disponibilizada através de um link, para que os leitores pudessem acessá-la em diversos equipamentos. Buscou-se produzir uma cartilha que despertasse a atenção dos leitores, tanto na estética (cores e ilustrações), como nos textos explicativos, de forma a facilitar a compreensão. A cartilha foi construída no formato retrato e tamanho A4, apresentando 24 páginas e três tópicos principais. A cartilha está composta por uma capa, contracapa, corpo e referências. Apesar de amplamente utilizada pela ciência, muitos livros de ensino médio não trazem informações suficientes sobre esse organismo. Dessa forma, o tema escolhido para a elaboração da cartilha buscou suprir essa carência e permitir a divulgação científica sobre a elevada importância desta espécie para diversos conhecimentos acadêmicos.

Palavras-chave: Difusão científica; genética; grupo Morgan; teoria cromossômica da herança.

ABSTRACT

Drosophila melanogaster is one of the most studied species by researchers and one of science's model organisms. Despite this, the importance of this fly is not widely publicized in schools and for the general population. Booklets are one of the means of scientific dissemination used to present content in a didactic and pleasant reading, combining short texts with accessible language and illustrations. In this work, a scientific booklet was produced with the objective of disseminating the reasons that place *D. melanogaster* as a prominent organism in the scientific scenario. The didactic booklet, entitled "The importance of the model organism *Drosophila melanogaster* for knowledge in the area of genetics", was created on the Canva website. After elaboration, the booklet was converted to PDF format and made available through a link, so that readers could access it on different devices. We sought to produce a booklet that would attract the attention of readers, both in terms of aesthetics (colors and illustrations) and explanatory texts, in order to facilitate understanding. The booklet was built in portrait format and A4 size, with 24 pages and three main topics. The booklet consists of a cover, back cover, body and references. Despite being widely used by science, many high school textbooks do not provide enough information about this organism. Thus, the theme chosen for the preparation of the booklet sought to fill this gap and allow scientific dissemination about the high importance of this species for various academic knowledge.

Keywords: Scientific diffusion; genetics; Morgan group; chromosomal theory of inheritance.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	10
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	11
2.1 A família Drosophilidae (Insecta, Diptera).....	11
2.2 <i>Drosophila melanogaster</i> e sua importância para os estudos genéticos.....	13
2.3 A utilização da cartilha como divulgação científica.....	18
3. OBJETIVOS.....	19
3.1 Objetivo geral.....	19
3.2 Objetivos específicos.....	19
4. METODOLOGIA.....	20
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	21
5.1 Apresentação e aplicação da cartilha.....	21
6. CONCLUSÕES.....	23
REFERÊNCIAS	23
APÊNDICE A – CARTILHA.....	27

1. INTRODUÇÃO

A família Drosophilidae pertence à Classe Insecta, estando representada por pequenas moscas conhecidas como “moscas do vinagre”. Esta família agrupa 77 gêneros, sendo *Drosophila* o mais pesquisado (BÄCHLI 2022). Dentro deste gênero, a espécie *D. melanogaster* é a mais estudada, sendo um organismo modelo na área da genética (LORETO 2010).

Mas o que seria um organismo modelo? São organismos utilizados para investigar diversas questões científicas, gerando resultados que podem ser aplicados a várias outras espécies (LORETO 2010). *Drosophila melanogaster* se torna um organismo modelo ideal, devido ao seu pequeno tamanho, baixo número de cromossomos, fácil criação em pequenos espaços de laboratório, baixo custo de manutenção dos estoques, ciclo de vida curto e produção de proles numerosas (LORETO 2010; SOUZA 2015).

Drosophila melanogaster foi utilizada como organismo experimental pela primeira vez em 1910, quando Thomas Hunt Morgan cruzou moscas de olhos vermelhos com moscas de olhos brancos. Através desses cruzamentos, Morgan verificou que a cor dos olhos de *D. melanogaster* era determinada por um gene que estava localizado no cromossomo sexual X (LORETO 2010).

A partir deste estudo, *D. melanogaster* se revelou um modelo versátil para diversas pesquisas, tornando-se popular na ciência (LORETO 2010). Desde 1910 até os dias de hoje, esta espécie vem sendo utilizada em muitos estudos na área da genética, sendo importante para diversos aspectos desta área de ensino, tais como: a localização dos genes nos cromossomos, a herança ligada ao sexo, o mapeamento gênico e o efeito das mutações (PIERCE 2013). Na área médica *D. melanogaster* também se destaca, sendo utilizada para entender, por exemplo, a expressão dos genes ao longo do desenvolvimento embrionário, o processo de envelhecimento, o câncer, o mal de Alzheimer, comportamentos de aprendizagem e o alcoolismo (LORETO 2010).

Apesar de muito importante no meio científico, a população leiga e, especialmente, os estudantes de ensino fundamental e médio, pouco conhecem sobre as contribuições de *D. melanogaster* para a ciência. Dessa forma, é importante que seja realizada maior divulgação científica sobre este tema para este

público, demonstrando como os organismos modelo nos ajudam a compreender sobre os mais diversos assuntos.

A divulgação científica é definida como “a comunicação da informação científica e tecnológica ao público em geral”. Dessa forma, se propõe a disseminar, de forma clara e objetiva, informações para o público não científico (BUENO 1984; ALBAGLI 1996).

Uma forma de divulgação científica são as cartilhas. Este é um recurso didático que possibilita abordar diferentes assuntos com uma linguagem simples e acessível. Os conteúdos são expostos de forma didática e acompanhados de ilustrações, resultando em um material lúdico que pode ser compreendido pelos públicos mais variados. Este também é um material de grande aceitação entre professores e alunos (SOUZA 2009; MARTEIS 2011).

Dessa forma, a preparação de uma cartilha didática sobre *D. melanogaster* é uma forma de divulgação científica, visando contribuir para o melhor conhecimento deste organismo, demonstrando sua importância para diversas linhas do conhecimento, principalmente para a área da genética.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A família Drosophilidae (Insecta, Diptera)

Os representantes da família Drosophilidae são comumente conhecidos por moscas do vinagre ou pequenas moscas das frutas. É um grupo de insetos cosmopolita e morfologicamente diverso. Na fase adulta possuem de 1 a 6 milímetros de comprimento, apresentam olhos vermelhos e corpo com coloração amarelada, marrom ou preta. O abdômen é marcado por faixas ou listras, o tórax apresenta listras ou manchas e as asas, por vezes, são escurecidas ou marcadas com áreas escuras (WHEELER 1987).

Esta família agrupa 77 gêneros e mais de 4.600 espécies. O gênero com mais espécies é *Drosophila* (Figura 1), cujos representantes respondem por 36,04% da riqueza da família (BÄCHLI 2022). Somente no Brasil mais de 300 espécies de drosofilídeos já foram registradas (GOTTSCHALK et al. 2008) e muitas novas espécies aguardam descrição (MEDEIROS; KLACZO 2004).



Figura 1. Fêmea de *Drosophila melanogaster*.

Os drosofilídeos são holometábolos, ou seja, sofrem metamorfose completa durante seu ciclo de vida. O ciclo de vida consiste em quatro fases: ovo, larva, pupa e adulto (Figura 2). A depender da espécie e da temperatura ocorre variação no tempo de duração de cada fase. Em geral, temperaturas mais altas aceleram a taxa de desenvolvimento. Por exemplo, para *Drosophila melanogaster* (Figura 1) a 20°C, o ciclo de vida de ovo a adulto se completa em 14 ou 15 dias, mas a 25°C, o ciclo dura cerca de 10 dias (VA et al. 2009).

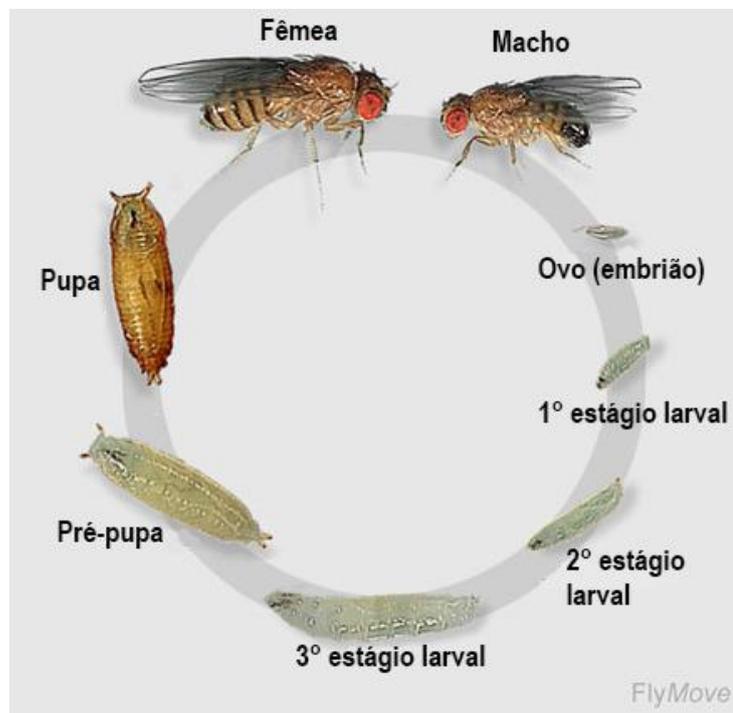


Figura 2. Ciclo de vida de *Drosophila melanogaster*, com a indicação das principais etapas de desenvolvimento. Fontes: <https://www.flickr.com/photos/11304375@N07> (adaptado) e https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Drosophila_melanogaster_Proboscis.jpg.

Estes insetos são consumidores primários de microrganismos, principalmente leveduras associadas a frutos em estágios iniciais de decomposição (Figura 3). Outras partes vegetais também são utilizadas pelos drosofilídeos como sítios de alimentação ou oviposição, como flores, folhas, caules e raízes em decomposição (CARSON 1971).



Figura 3. Organismos adultos de *Drosophila melanogaster* colonizando um pedaço de banana em decomposição. Fonte: <https://www.bbc.com/portuguese/vert-earth-7014344>

Embora sejam moscas pequenas tem sido gigante a contribuição dos drosofilídeos para a ciência. Pavan (1959) sugeriu que nenhum outro animal além do homem tenha sido alvo de tantos estudos como as moscas do gênero *Drosophila*.

2.2 *Drosophila melanogaster* e sua importância para os estudos genéticos

A mosca *Drosophila melanogaster* é considerada a espécie mais estudada pela ciência (PAVAN 1959; ASHBURNER 1993; REMSEN; O'GRADY 2002). Existem muitas vantagens técnicas para se utilizar esta espécie nas pesquisas. Estas moscas são fáceis e baratas de serem mantidas no laboratório, têm um ciclo de vida curto e produzem um grande número de embriões (JENNINGS 2011).

D. melanogaster, juntamente com o camundongo *Mus musculus*, o nematódeo *Caenorhabditis elegans*, o peixe zebra *Danio rerio*, a planta *Arabidopsis thaliana*, a levedura *Saccharomyces cerevisiae* e a bactéria *Escherichia coli* compõe os organismos modelo mais utilizados no mundo (KLUG et al. 2010). O termo “organismo modelo” é empregado às espécies que são utilizadas para investigar diversas questões científicas e produzem resultados que podem ser aplicados a

várias outras espécies. Dessa forma, as conclusões obtidas a partir de um organismo modelo podem ser consideradas “universais” (LORETO 2010).

As valiosas contribuições de *D. melanogaster* nos estudos experimentais iniciaram na sala das moscas, na Universidade de Columbia, em Nova York nos primeiros anos do século XX (Figura 4). Embora de aparência simples, esta sala com cheiro de bananas fermentadas, onde ficavam diversas garrafas de leite que serviam como criadouros de moscas, foi palco do estabelecimento das bases dos mecanismos de herança que fundamentaram os estudos genéticos (GOODSTEIN 1991). Foi lá que Thomas Hunt Morgan (1846-1945) reuniu um grupo de pesquisadores fantásticos, como Alfred Sturtevant (1891-1970), Calvin Bridges (1899-1981) e Herman Muller (1890-1967), que juntos contribuíram para estabelecer as bases da genética, como a localização dos genes nos cromossomos, a herança ligada ao sexo, o mapeamento gênico e o efeito das mutações (PIERCE 2013).



Figura 4. Sala das Moscas, Universidade de Columbia, Nova York. Fonte: <https://www.nature.com/scitable/topicpage/thomas-hunt-morgan-and-sex-linkage-452/>

No início dos anos de 1900 os resultados de Mendel com as ervilhas acabavam de ser “redescobertos” e não havia certeza se valeriam para todos os tipos de características e para outros organismos. Outra dúvida que permanecia na época

era sobre a localização dos genes, denominados de fatores por Mendel (LORETO 2010). Os estudos de Mendel se restringiam a padrões de herança dominante e recessiva, sem determinar onde estariam situados os “fatores” descobertos por ele. Este panorama sofreu modificações quando o grupo Morgan, através da análise de cruzamentos com moscas de olhos vermelhos e de olhos brancos, demonstrou que a cor dos olhos de *D. melanogaster* era determinada por um gene localizado no cromossomo sexual X. Em 1910, Morgan publicou na revista Science os resultados obtidos nas suas pesquisas com *D. melanogaster*, evidenciando os mecanismos de transmissão de características e estabelecendo as relações entre os genes e os fenótipos. Estes e outros resultados foram tão importantes para a ciência que Morgan foi contemplado com Prêmio Nobel de 1933 por suas elucidações sobre o papel dos cromossomos nos mecanismos de herança (JENNINGS 2011).

Os estudos do grupo Morgan foram alavancados pela descoberta de um grande número de mutações em *D. melanogaster*, as quais resultavam em padrões fenotípicos muito variáveis em relação ao padrão selvagem. Por exemplo, além das moscas mutantes de olhos brancos, contrastando com o padrão selvagem de olhos vermelhos, foram observados mutantes de corpo escuro frente ao padrão selvagem mais claro e moscas com asas reduzidas em relação ao padrão normal. Esses achados possibilitaram a utilização destes mutantes em cruzamentos que permitiram compreender melhor as bases dos mecanismos de herança. Em 1915 Morgan e seus colaboradores já haviam descoberto 85 mutações em *D. melanogaster* (AMABIS & MARTHO 2004).

A partir da análise de diferentes cruzamentos, envolvendo moscas selvagens e mutantes, o grupo Morgan observou que algumas características apresentavam segregação independente, seguindo os padrões mendelianos, ao passo que outras características apresentavam ligação gênica. Foram determinados quatro grupos de ligação coincidentes com os estudos citológicos de *D. melanogaster* que mostravam que a espécie apresenta 4 pares de cromossomos. Deste modo, foi estabelecida outra premissa importante da teoria cromossômica da herança: genes que estão em um mesmo cromossomo tendem a ser herdados juntos na formação dos gametas, ou seja, são genes ligados (ROBERTS 2006; AMABIS & MARTHO 2015).

Embora os estudos pioneiros do grupo Morgan demonstrassem a coincidência entre os grupos de ligação e o número de pares cromossômicos, uma dúvida intrigava estes e outros pesquisadores. Como explicar a presença de moscas com

fenótipos recombinantes em cruzamentos envolvendo características situadas em mesmo grupo de ligação? Com base nos estudos citológicos pioneiros de Frans Janssens (1863-1924), que propôs em 1909 a recombinação entre cromossomos homólogos na meiose, o grupo Morgan sugeriu que se as recombinações em *Drosophila* ocorressem entre os genes situados no mesmo cromossomo a ligação entre eles seria rompida, formando cromátides recombinantes, o que mais tarde foi confirmado para diversos grupos de organismos (HUNTER 2015).

A partir das elucidações dos mecanismos de recombinação em *Drosophila*, um jovem estudante do grupo Morgan, Alfred Sturtevant, propôs a construção dos primeiros mapas genéticos a partir da estimativa da distância entre os genes, com base nas suas taxas de recombinação. Assim foram indicadas as posições e as distâncias dos primeiros genes nos cromossomos (ROBERTS 2006). É curioso observar que os primeiros mapas cromossômicos foram construídos a partir de resultados de cruzamentos em laboratório, sem a necessidade de máquinas e equipamentos potentes para essas elucidações.

Em 1927, outro aluno de Morgan, Hermann Muller, descobriu que raios X e radiações ionizantes eram capazes de provocar mutações e rearranjos cromossômicos em *D. melanogaster* (MULLER 1928). Em 1946 Muller ganhou o Prêmio Nobel por sua descoberta (JENNINGS 2011).

Theophilus Painter, em 1934, enriqueceu as pesquisas com *D. melanogaster* através da descoberta dos cromossomos politênicos nesta espécie. Estes cromossomos são formados pelo pareamento dos cromossomos homólogos e resultam de sucessivos ciclos de replicação do DNA sem a separação das cromátides-filhas resultantes. São constituídos pelo pareamento de regiões claras (onde a cromatina está menos condensada) e escuras (onde a cromatina está mais condensada), o que os assemelha aos códigos de barras presentes em produtos comerciais. Nos cromossomos politênicos, podemos observar também o funcionamento dos genes, através das regiões de “puffs”, que contêm genes em transcrição (LORETO 2010).

A partir da descoberta de Painter, Bridges, em 1935, construiu um mapa registrando o padrão de bandas observado em cada cromossomo de *D. melanogaster*. Esse mapa cromossômico foi importante para identificar as posições dos genes, as alterações cromossômicas (rearranjos, deleções e duplicações), e suas relações com alterações fenotípicas (LORETO 2010). A riqueza de detalhes

estruturais dos cromossomos politênicos tem proporcionado o amplo uso de várias espécies do gênero *Drosophila* em estudos citológicos e evolutivos (GARCIA 2006).

Outra aplicação importante de *D. melanogaster* na ciência foi na compreensão de como os genes direcionam o desenvolvimento embrionário de uma única célula para um organismo multicelular. Christiane Nüsslein-Volhard, Eric Wieschaus e Ed Lewis verificaram que muitos dos genes que são importantes para o desenvolvimento de *D. melanogaster*, também são fundamentais para o desenvolvimento de outros animais, incluindo humanos. Embora sejam aparentemente muito diferentes, uma mosca e um ser humano apresentam conjuntos gênicos surpreendentemente conservados ao longo do processo evolutivo. Por esta descoberta os três pesquisadores ganharam o Prêmio Nobel de Fisiologia ou Medicina em 1995 (JENNINGS 2011).

Em 2000 foi concluído o sequenciamento do genoma de *D. melanogaster* (ADAMS et al. 2000). Em 2003 o projeto de sequenciamento do genoma humano também foi finalizado e as comparações destes genomas revelaram que aproximadamente 75% dos genes de doenças humanas conhecidas têm uma correspondência reconhecível no genoma de *D. melanogaster*, consolidando seu papel como organismo modelo na ciência (PANDY & NICHOLS 2011; YAMAMOTO et al 2014). Deste modo, *D. melanogaster* também tem sido amplamente utilizada no estudo de várias doenças humanas relacionadas com o sistema nervoso central e periférico, como neurodegeneração, doença de Alzheimer, distúrbios do sono, distúrbios convulsivos, doenças cardiovasculares, câncer, entre outras (PANDY & NICHOLS 2011; UGUR et al. 2016; YAMAGUCHI & YOSHIDA 2018).

Há mais de um século, *D. melanogaster* ocupa o posto de organismo modelo na ciência. Desde então, o pequeno tamanho desta mosca em nada reflete o seu gigantesco papel na elucidação das bases da genética, na compreensão de princípios evolutivos e em descobertas fundamentais na área médica. Mesmo com esta notória importância ainda é escassa a utilização desta mosquinha em sala de aula. Conforme sugerido por Loreto (2010), a *Drosophila* tem ampla aplicação no ensino, desde sua utilização para compreensão do ciclo de vida de um inseto holometábolo, como seu uso em experimentos que permitam compreender as leis de Mendel.

Talvez a pouca difusão sobre a importância dessa mosquinha tão especial possa explicar sua baixa utilização no ensino. Conhecer sua enorme importância para a

ciência e o quanto somos geneticamente parecidos com esses insetos tão pequeninhos é um passo importante para ampliar a utilização deste organismo modelo em sala de aula.

2.3 A utilização da cartilha como divulgação científica

A divulgação científica é caracterizada como a popularização da ciência e, segundo Bueno (1984), pode ser definida como “a comunicação da informação científica e tecnológica ao público em geral” (BUENO 1984; ALBAGLI 1996). O papel educacional da divulgação científica visa esclarecer aos indivíduos sobre fenômenos já cientificamente estudados (ALBAGLI 1996).

A divulgação da ciência acompanha os diferentes momentos da história do Brasil. No Brasil Colônia, a proibição de impressão e circulação de materiais escritos era uma grande barreira para o fluxo de informações científicas. Em 1808, com a vinda da família Real, a criação de imprensas, jornais, cursos superiores e institutos de pesquisa facilitaram o acesso às informações científicas e o aumento do público produtor e consumidor da ciência. Porém, apenas em 1980, houve a produção de revistas dedicadas à divulgação científica (GRILLO 2013).

A inserção da ciência na sociedade e na economia amplia o interesse dos indivíduos em conhecer o caráter benéfico da atividade científica e as suas aplicações. Dessa forma, é necessária a tradução de uma linguagem especializada para uma leiga, a fim de atingir os mais variados públicos (ALBAGLI 1996).

A educação tem como objetivo viabilizar ao aluno a consciência da sua realidade (MORAN 2007). Dessa forma, é fundamental que os educadores contextualizem temas relacionados à ciência, evidenciando a aplicação desses conhecimentos científicos na vida cotidiana (BISPO FILHO 2013). O ensino das ciências estimula o raciocínio lógico, a curiosidade, fortalece a democracia e ajuda a formar cidadãos aptos a enfrentar os desafios da sociedade contemporânea (SANTOS 2016).

Dentre os meios de divulgação científica está a cartilha, definida como um material que visa apresentar diferentes conteúdos de forma leve e dinâmica, com a presença de textos, imagens e/ou ilustrações coloridas. Recomenda-se que sua extensão seja curta e inclua elementos pós-textuais (GIORDANI, 2020).

Antigamente, no Brasil, as cartilhas eram usadas para propagar os ensinamentos religiosos, sendo um meio de comunicação entre os missionários e a população local. Na Era Vargas (1930-1945), eram utilizadas como instrumentos de campanha política (MARTEIS 2011). As cartilhas são também utilizadas como material didático, sendo um instrumento de grande aceitação entre os professores e alunos e amplamente utilizadas nas mais diversas áreas do conhecimento (SOUZA 2009).

Por apresentar formato e tamanho semelhante às revistas, as cartilhas apresentam um maior número de informações do que os panfletos, possibilitando que o assunto seja trabalhado de forma mais detalhada (MARTEIS 2011). Uma vez que utilizam linguagem simples, didática e ilustrada, as cartilhas possibilitam que temas difíceis para os estudantes sejam trabalhados e apresentados de modo mais fácil e mais prazeroso de ser compreendido (SOUZA 2009).

Os conhecimentos científicos estão inseridos diretamente em nosso cotidiano, envolvendo todos os aspectos da vida. A disseminação das informações científicas em linguagem acessível proporciona a formação de cidadãos mais conscientes e responsáveis (CHASSOT 2006; VIECHENESKI 2012).

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Divulgar a importância de *Drosophila melanogaster* como um organismo modelo na ciência.

3.2 Objetivos específicos

- Construir uma cartilha didática como forma de gerar um material de divulgação sobre a importância de *Drosophila melanogaster* para a ciência e seu papel histórico nos conhecimentos da área da genética.
- Difundir conhecimentos sobre o que é um organismo modelo e suas aplicações para o estudo de diversas questões científicas.

4. METODOLOGIA

A criação da cartilha didática foi realizada em quatro etapas: a) escolha do tema, b) revisão bibliográfica, c) construção do roteiro e seleção das figuras para a cartilha e d) diagramação da cartilha com os textos e ilustrações. Os equipamentos e programas utilizados para a confecção da cartilha estão listados no Quadro 1.

Quadro 1. Lista dos materiais utilizados para a construção da cartilha didática sobre a importância do organismo modelo *Drosophila melanogaster* para os conhecimentos da área da genética.

Notebook
Microsoft Word
Programa gratuito Canva: disponível em https://www.canva.com/pt_br/

Fonte: QUINTAS, J. I. F. P. (2022).

O tema escolhido para a elaboração da cartilha foi: “A importância do organismo modelo *Drosophila melanogaster* para os conhecimentos da área da genética”. Dentre os assuntos abordados na cartilha, estão: 1) O que é um organismo modelo?; 2) Conhecendo um organismo modelo: *Drosophila melanogaster* e 3) A importância de *Drosophila melanogaster* para a genética.

Em relação à etapa de revisão bibliográfica sobre este tema, a mesma foi realizada nos semestres de 2021.2 (na disciplina de TCC 1) e 2022.2 (na disciplina de TCC 2), a partir de consultas em artigos, sites e livros disponíveis na internet. Para a revisão bibliográfica foram utilizados os descritores: “*Drosophila melanogaster* organismo modelo”, “ensino de genética *Drosophila melanogaster*” e “biologia *Drosophila melanogaster*”. Estes mesmos temas no idioma inglês também foram empregados.

Após a revisão de bibliográfica foi construído um roteiro (no Microsoft Word) dos tópicos que seriam abordados na cartilha e com a proposta de imagens para ilustrar os diferentes textos. Para a elaboração dos textos buscou-se utilizar linguagem acessível e direta, de modo a produzir um material agradável aos leitores.

Em relação às ilustrações presentes na cartilha, algumas foram retiradas diretamente da internet, a partir de imagens liberadas para a divulgação, e outras

foram elaboradas pela autora, usando composição de imagens retiradas da internet também com uso permitido.

A diagramação da cartilha didática foi construída no site Canva (<https://www.canva.com/>), combinando os textos e ilustrações. O Canva é um site gratuito de design, que contém diversas ferramentas que auxiliam o usuário criar variados recursos, como slides, cartilhas, panfletos e histórias em quadrinhos. O Canva também possui uma versão paga, o Canva Pro, que oferece recursos mais elaborados, como retirar fundos de imagens e criar uma logomarca. O Canva Pro disponibiliza um período de 30 dias de teste, onde todos os recursos mais elaborados são gratuitos. Esta cartilha foi elaborada na versão teste do Canva Pro.

Na diagramação da cartilha foi utilizado um modelo de design de cartilha já disponível no Canva. Sobre este modelo foram realizadas alteração de cores das páginas e dos textos e foram inseridos os textos e as ilustrações previamente preparados. Buscou-se produzir uma cartilha que despertasse a atenção dos leitores, tanto na estética (cores e ilustrações), como nos textos explicativos, de forma a facilitar a compreensão.

Após a etapa de diagramação, a cartilha foi convertida para o formato PDF (a fim de facilitar a sua a impressão). Também foi criado um link de acesso para a cartilha, para que os leitores pudessem acessar o material didático produzido de forma mais prática em diversos equipamentos como computadores, *notebooks*, *tablets* e *smartphones*.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Apresentação e aplicação da cartilha

A cartilha produzida no presente trabalho (Apêndice A) se intitula “A importância do organismo modelo *Drosophila melanogaster* para os conhecimentos da área da genética” e pode ser acessada diretamente no link (<https://drive.google.com/file/d/1VLfg2jHvziZAJ8QV2c0mh0TAAGlvcQGz/view?usp=sharing>). A cartilha foi construída no formato retrato e no tamanho A4, apresentando 24 páginas. Três tópicos principais foram explorados: (1) O que é um organismo modelo?, (2) Conhecendo um organismo modelo: *Drosophila melanogaster* e (3) A importância de *Drosophila melanogaster* para a genética.

A cartilha está composta por uma capa, contracapa, corpo e referências. Na capa, está disposto o título com uma imagem da personagem principal da cartilha, a espécie *D. melanogaster*. A contracapa é uma breve apresentação da cartilha. O corpo da cartilha é a parte principal, onde estão inseridos os textos e as ilustrações. Nas referências foram citados todos os livros, sites e artigos consultados para a construção da cartilha.

No corpo da cartilha, o primeiro tópico (intitulado “O que é um organismo modelo?”) aborda as características de um organismo modelo e apresenta as espécies de organismos modelos existentes atualmente. O segundo tópico (intitulado “Conhecendo um organismo modelo: *Drosophila melanogaster*”) apresenta a mosca *D. melanogaster*, abordando seu nome popular, o local em que pode ser encontrada, a morfologia do seu corpo e algumas características que a tornam um organismo modelo vastamente estudado, como pequeno tamanho, cariótipo, ciclo de vida curto e prole numerosa. Este tópico também menciona algumas curiosidades sobre *Drosophila melanogaster*. O terceiro tópico (intitulado “A importância de *Drosophila melanogaster* para a genética”) apresenta aspectos históricos sobre as primeiras experiências com *D. melanogaster* e como esses resultados permitiram alicerçar os fundamentos da genética. É tratado sobre o grupo Morgan e o local onde foram realizados os primeiros experimentos envolvendo essa mosquinha. Dentre os assuntos abordados neste tópico, também estão à importância das descobertas de mutantes em *D. melanogaster*, as pesquisas sobre os mecanismos de ligação gênica e recombinação que resultaram na construção dos primeiros mapas genéticos, a importância dos cromossomos politênicos para os estudos genéticos e evolutivos e a relevância de *D. melanogaster* em investigações envolvendo os genes do desenvolvimento e em doenças que afetam humanos.

Apesar de amplamente utilizada pela ciência, há pouca divulgação científica sobre o papel de *D. melanogaster* na elucidação de diversos conhecimentos científicos. Muitos livros de ensino médio não trazem informações suficientes sobre esse organismo, como ocorre com as publicações de Lopes (2004), Amabis & Martho (2020), Mortimer et. al (2020). Dessa forma, o tema escolhido para a elaboração da cartilha buscou suprir essa carência e permitir a divulgação científica sobre essa elevada importância desta espécie para diversos conhecimentos acadêmicos.

A cartilha é um instrumento pedagógico de difusão, reunindo elementos verbais e não verbais num mesmo espaço e vêm sendo utilizada cada vez mais nos espaços escolares, sendo um recurso de divulgação do conhecimento científico e promovendo a popularização da ciência (MENDES 2017; ALVES 2019; NASCIMENTO 2020). A cartilha aqui produzida buscou atender esses elementos e utilizar linguagem clara e ilustrações explicativas, permitindo sua leitura por estudantes de ensino médio e pela população em geral, interessados em conhecer mais profundamente o organismo modelo *D. melanogaster*. Espera-se que o material didático produzido contribua para o aprendizado e complementação dos assuntos de genética e possa ser utilizado nas escolas e outros espaços de ensino.

6. CONCLUSÃO

As contribuições de *D. melanogaster* para a ciência são gigantescas, porém, apesar de ser amplamente estudada, esta espécie ainda é pouco conhecida pelos estudantes de ensino médio e pela população leiga. A cartilha produzida serve como um meio de divulgar as informações sobre esta espécie e a sua importância para a área da genética e para a ciência em geral, sendo um material de apoio para o ensino de biologia nas escolas e outros espaços culturais.

REFERÊNCIAS

ADAMS, MD; CELNIKER, SE; HOLT, RA; EVANS, CA; GOCAYNE, JD; AMANATIDES, PG; SCHERER, SE; LI, PW; HOSKINS, RA; GALLE, RF; ET AL. (2000). **The genome sequence of *Drosophila melanogaster***. Science, v. 287, p. 2185–95.

ALBAGLI, S. (1996). **Divulgação científica: informação científica para a cidadania?**. Ci. Inf., Brasília, v. 25, n. 3, p. 396-404.

ALVES, RJM; GUTJAHR, ALN; PONTES, AN. (2019). **Processo metodológico de elaboração de uma cartilha educativa socioambiental e suas possíveis aplicações na sociedade**. Revista Brasileira de Educação Ambiental (RevBEA), v. 14, n. 2, p. 69-85.

AMABIS, JM; MARTHO, GR. (2004). **Biologia Volume 3**. Editora Moderna.

AMABIS, JM; MARTHO, GR. (2015). **Biologia Volume 3**. Editora Moderna.

- AMABIS, JM; MARTHO, GR. (2020). **Moderna Plus: Ciências da Natureza e suas Tecnologias**. Editora Moderna.
- ASHBURNER, M. (1993). **The Development of *Drosophila melanogaster***. In: PRESS, CSHL. (Ed.). New York, p.1493-1506.
- BÄCHLI, G. (2022). **TaxoDros: the database on taxonomy of Drosophilidae**. Disponível em: <http://taxodros.unizh.ch>. Acesso em: 20 de março de 2022.
- BISPO FILHO, DDO; MACIEL, MD; SEPINI, RP; ALONSO, ÁV. (2013). **Alfabetização Científica sob o enfoque da ciência, tecnologia e sociedade: implicações para a formação inicial e continuada de professores**. Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias, v. 12, n. 2, p. 313-333.
- BUENO, WC. (1984). **Jornalismo científico no Brasil: compromissos de uma prática dependente**. (Tese de doutorado apresentada à Escola de Comunicações e Artes da USP). São Paulo.
- CARSON, HL. (1971). **The ecology of *Drosophila* breeding sites**. Harold L. Lyon Arboretum Lecture 2. University of Hawaii, p. 27.
- CHASSOT, A. (2006). **Alfabetização científica: questões e desafios para a educação**. Ijuí: Ed. Unijuí, p. 438.
- GARCIA, ACL. (2006). **Evolução cromossômica da superespécie *Drosophila paulistorum* e ecologia de populações marginais**. 182 páginas. (Genética e Biologia Molecular) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- GIORDANI, AT. (2020). **Normas editoriais, orientação aos autores: cartilhas**. Editora UENP, p. 4.
- GOODSTEIN, JR. (1991). **The Thomas Hunt Morgan Era in Biology**. Engineering and Science, v. 54, p. 12-23.
- GOTTSCHALK, MS; HOFMANN, PRP; VALENTE VLS. (2008). **Diptera, Drosophilidae: historical occurrence in Brazil**. Check List (UNESP), v. 4, p. 485-518.
- GRILLO, SVC. (2013). **Divulgação científica: linguagens, esferas e gêneros**. 334 páginas. (Filologia e Língua Portuguesa) – Universidade de São Paulo, São Paulo.
- HUNTER, N. (2015). **Meiotic recombination: the essence of heredity**. Cold Spring Harbor perspectives in biology, v. 7.
- JENNINGS, BH. (2011). ***Drosophila*—a versatile model in biology & medicine**. Materials today, v. 14, p. 190-195.
- KLUG, WS; CUMMINGS, MR; SPENCER, CA; PALLADINO, MA. (2010). **Conceitos de Genética**. Ed. 9, p. 896. Editora Artmed. Porto Alegre, Brasil.

LOPES, S. (2004). **Bio: Volume Único**. Editora Saraiva.

LORETO, ÉLS. (2010). **2010: um século de Drosophila na genética**. Genética na Escola, Santa Maria RS, v. 5, n. 2, p. 42-47.

MARTEIS, LS; MAKOWSKI, LS; SANTOS, RLC. (2011). **Abordagem sobre Dengue na educação básica em Sergipe: análise de cartilhas educativas**. Scientia Plena, Aracajú, v. 7, n. 6.

MEDEIROS, HFD & KLACZKO, LB. (2004). **How many species of Drosophila (Diptera, Drosophilidae) remain to be described in the forests of São Paulo, Brazil?: species lists of three forest remnants**. Biota Neotropica, v. 4, n. 1, p. 1-12.

MENDES, MMD; OLIVEIRA, GL. (2017). **A produção de cartilhas científicas: uma proposta pedagógica sobre sustentabilidade no ensino médio**. Anais do IV Congresso de Ensino, Pesquisa e Extensão da Universidade Estadual de Goiás, v. 4.

MIKO, I. (2008). **Thomas Hunt Morgan and Sex Linkage**. Nature Education, v. 1, n. 1, p. 143. Disponível em: <https://www.nature.com/scitable/topicpage/thomas-hunt-morgan-and-sex-linkage-452/>. Acesso em: 21 de abril de 2022.

MORAN, JM. (2007). **A educação que desejamos: novos desafios e como chegar lá**. Papirus Editora.

MORTIMER, E; HORTA, A; MATEUS, A; MUNFORD, D; FRANCO, L; MATOS, S; PANZERA, A; GARCIA, E; PIMENTA, M. (2020). **Matéria, energia e vida: uma abordagem interdisciplinar**. Editora Scipione.

Mosca-da-fruta é arma para desvendar os grandes mistérios da vida. (2016). BBC NEWS Brasil. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/vert-earth-37014344>. Acesso em: 21 de abril de 2022.

MULLER, HJ. (1928). **The Production of Mutations by X-Rays**. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, v. 14, n. 9, p. 714–726.

NASCIMENTO, GM; SOUSA, TBB; ARNAN, X; RIBEIRO, EMS; LIMA, RLFA. (2020). **A cartilha como instrumento de apoio didático: uma abordagem sobre os invertebrados da caatinga**. Revista Brasileira de Educação Ambiental (Revbea), v. 15, n. 6, p. 17-51.

PANDY, UB; NICHOLS, CD. (2011). **Human disease models in *Drosophila melanogaster* and its role of the fly in therapeutic drug discovery**. Pharmac Rev, v. 63, p. 411–436.

PAVAN, C. (1959). **Relações entre populações naturais de Drosophila e o meio ambiente**. Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo, v. 221, p. 1-81.

PIERCE, BA. (2013). **Genética: um enfoque conceitual**. Rio de Janeiro: GUANABARA KOOGAN.

REMSEN J, O'GRADY P. (2002). **Phylogeny of Drosophilinae (Diptera: Drosophilidae), with comments on combined analysis and character support**. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, v. 24, p. 249-264.

ROBERTS DB. (2006). ***Drosophila melanogaster*: the model organism**. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, v. 121, p. 93–103.

SANTOS, JG; KANUNFRE, CC; ROCHA, DC. (2016). **Aulas práticas sobre fisiologia humana no ensino médio brasileiro e no ensino secundário português: um estudo comparativo**. *Edu Ser- Revista de educação*, v. 7, n. 1.

SOUZA, HVL; FERREIRA, EC.; GOYA, EJ. (2009). **A cartilha como material didático: conservação do patrimônio artístico cultural**. Disponível em: [*2009.GT3a Helga Valeria de Lima Souza.pdf](#). Acesso em: 19 de abril de 2022.

SOUZA, PRE. et al. (2015). **Genética Geral Para Universitários**. Ed. 1, p. 78-80. Recife: Editora Universitária da UFRPE.

UGUR B, CHEN K, BELLEN HJ. (2016). ***Drosophila* tools and assays for the study of human diseases**. *Dis Models Mech*, v. 9, p. 235–244.

VA, DP; SA, AA & PAUL, SF. (2009). **Wonder animal model for genetic studies-*Drosophila melanogaster*—its life cycle and breeding methods—a review**. *Sri Ramachandra Journal of Medicine*, v. 2, n. 2, p. 33-38.

VIECHENESKI, JP; LORENZETTI, L; CARLETTO, MR. (2012). **Desafios e práticas para o ensino de ciências e alfabetização científica nos anos iniciais do ensino fundamental**. *Atos de pesquisa em Educação*, v. 7, n. 3, p. 853-876.

WHEELER, MR. (1987). **Drosophilidae**. In McAlpine, J.F. (Ed.), *Manual of Nearctic Diptera* v. 2, p. 1011- 1018.

YAMAGUCHI M, YOSHIDA H. (2018). ***Drosophila* as a model organism**. *Drosophila Models for Human Diseases*, p. 1-10.

YAMAMOTO S, JAISWAL M, CHARNG W-L, GAMBIN T, KARACA E, MIRZAA G, WISZNIEWSKI W, SANDOVAL H, HAELTERMAN NA, XIONG B, ET AL. (2014). **A *Drosophila* genetic resource of mutants to study mechanisms underlying human genetic diseases**. *Cell*, v. 159, p. 200–214.

APÊNDICE A – CARTILHA

A importância do organismo modelo

Drosophila melanogaster

para os conhecimentos da área da genética



Autora: Júlia Isabelle Freire Peres Quintas
Supervisora: Ana Cristina Lauer Garcia

Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)
Centro Acadêmico de Vitória (CAV)
Outubro de 2022

Esta cartilha foi desenvolvida durante as disciplinas de Trabalho de Conclusão de Curso, da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Centro Acadêmico de Vitória (CAV).

Com este material buscamos divulgar a importância da mosquinha *Drosophila melanogaster* como um organismo modelo para a ciência, especialmente na área da genética.

Ao longo desta cartilha esperamos demonstrar que sua contribuição para a ciência tem sido gigante, ao contrário do que podemos pensar quando olhamos para seu tamanho tão pequeno.



**O que é um
organismo
modelo?**

É representado por espécies que são intensamente utilizadas para investigar questões científicas e seus estudos revelam fenômenos biológicos semelhantes e que podem ser aplicados a várias outras espécies.



Deste modo os resultados obtidos a partir de um organismo modelo podem ser considerados "universais".

Há sete espécies de organismos modelos:



O camundongo *Mus musculus*

O nematódeo *Caenorhabditis elegans*



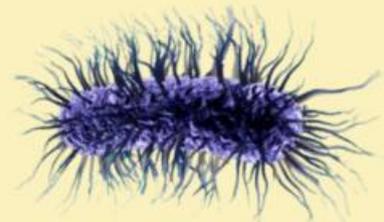
O peixe zebra *Danio rerio*

A planta *Arabidopsis thaliana*



A levedura *Saccharomyces cerevisiae*

A bactéria *Escherichia coli*



E, é claro, a personagem principal dessa cartilha:

a mosquinha ***Drosophila melanogaster***



Nas próximas páginas vamos conhecer a *Drosophila melanogaster*. Sua importância para a ciência é tão grande que Clodowaldo Pavan, um dos maiores geneticistas do Brasil, mencionou que nenhum outro animal além do homem foi alvo de tantos estudos como esta mosquinha.

Por que será?
Vamos descobrir?

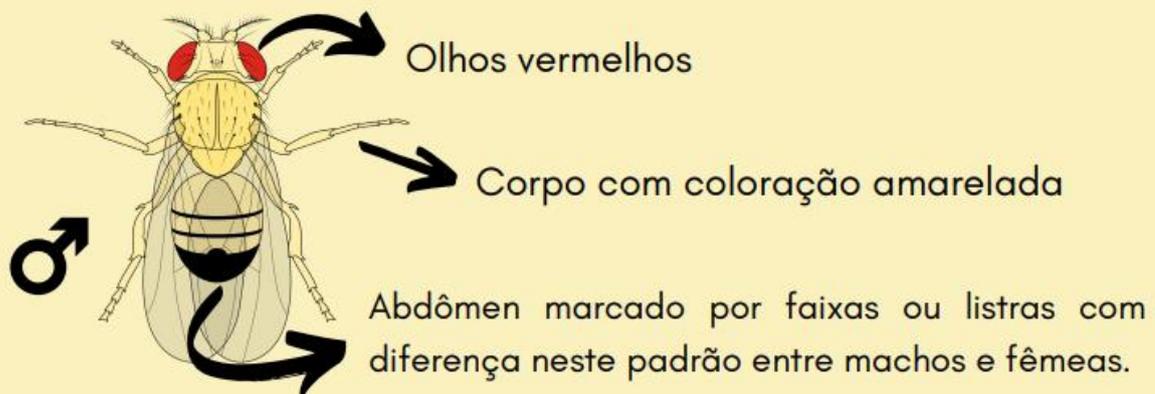


Conhecendo um organismo modelo: a *Drosophila melanogaster*

A mosca *Drosophila melanogaster* é conhecida popularmente como pequena mosca da fruta, por ser encontrada nos frutos em decomposição, onde deposita seus ovos e se alimenta de leveduras.



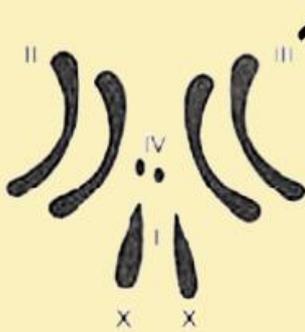
Drosophila melanogaster apresenta:





Vamos ver algumas características que tornam a *Drosophila melanogaster* um organismo modelo ideal para a ciência?

Pequeno tamanho, sendo fáceis e baratas de serem mantidas no laboratório.



Cariótipo de uma fêmea

Possui apenas quatro pares de cromossomos: nós (humanos), por exemplo, temos 23 pares.

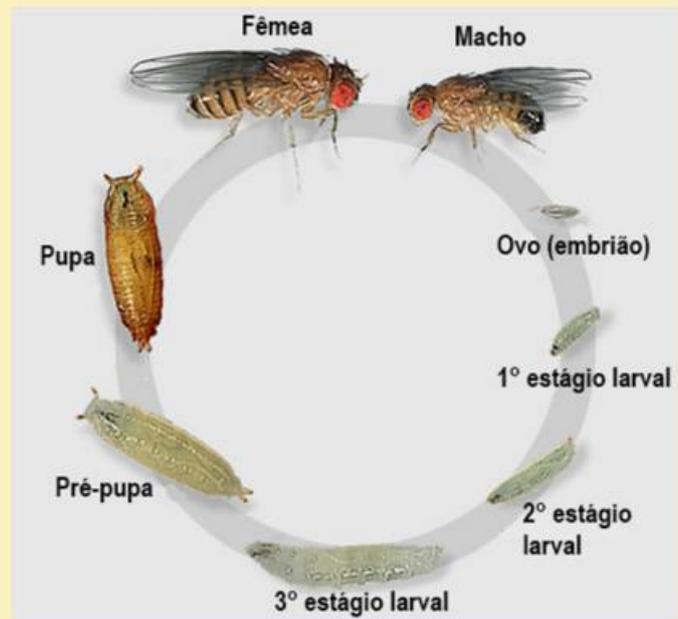


Cariótipo de um macho

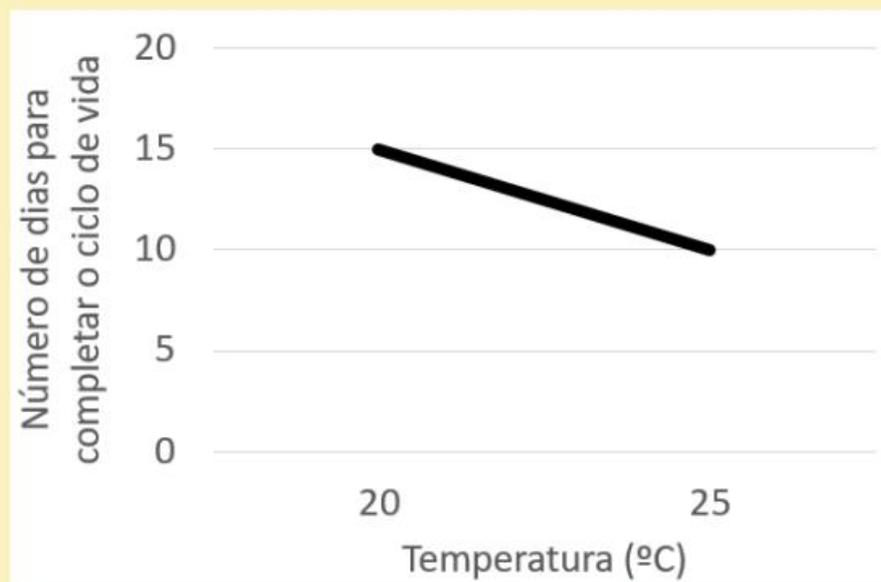
Esse baixo número cromossômico facilita os estudos genéticos com este organismo.

Apresenta ciclo de vida curto, possibilitando o estudo de várias gerações em laboratório.

Drosophila melanogaster apresenta desenvolvimento holometábolo, ou seja, passa pelas fases de ovo, larva, pupa e adulto.



A duração de cada fase depende da temperatura:



A 20°C, o ciclo de vida se completa em 14 ou 15 dias, mas a 25°C, o ciclo dura cerca de 10 dias.

Produção de um grande número de ovos, possibilitando a análise de um grande número de descendentes em estudos envolvendo cruzamentos biológicos.



Curiosidades



Você sabia que, sob condições ilimitadas de alimentação e acesso a companheiros, uma única fêmea de *Drosophila melanogaster* produz em média 615 filhotes ao longo de sua vida?

A expectativa de vida de *Drosophila melanogaster* a 21°C é de aproximadamente 90 dias.



A importância da *Drosophila melanogaster* para a genética

Antes de abordarmos as valiosas contribuições de *D. melanogaster* para a genética, vamos conhecer os personagens que começaram a estudar essa espécie e a colocaram na “calçada da fama” das descobertas científicas.



A *Drosophila melanogaster* começou a ser estudada no início dos anos 1900 por uma equipe brilhante de cientistas liderados por Thomas Hunt Morgan e, portanto, conhecido como grupo Morgan:



Thomas Hunt Morgan
(1845-1945)

LÍDER



Alfred Sturtevant
(1891-1970)



Calvin Bridges
(1889-1938)



Hermann Muller
(1890-1967)

E se você está achando que o laboratório onde este grupo estudou era ultrassofisticado e megaequipado, saiba que você está redondamente enganado!

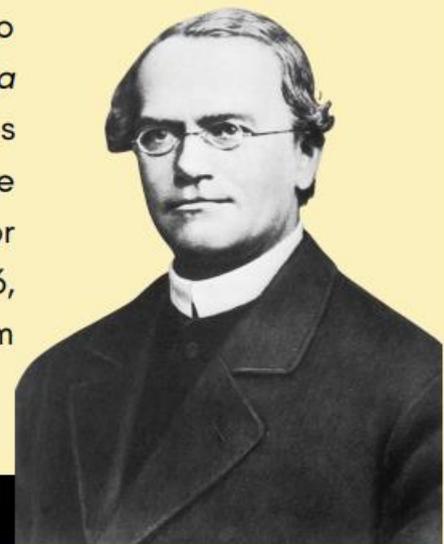
Veja abaixo o local onde o grupo Morgan fez alguns experimentos que embasaram os conhecimentos atuais que temos sobre a genética:



Sala de Moscas
Universidade de Columbia, Nova York

Era uma sala de aparência simples, com cheiro de bananas fermentadas, onde ficavam diversas garrafas de leite que serviam como criadouros de moscas.

Nos primeiros anos de 1900, quando o grupo Morgan começou a estudar a *Drosophila melanogaster*, havia muitos desconhecimentos e dúvidas em relação aos mecanismos de herança. Nesta época os estudos de Gregor Mendel com as ervilhas, publicados em 1866, haviam sido redescobertos e, até então, eram pouco conhecidos pela ciência.

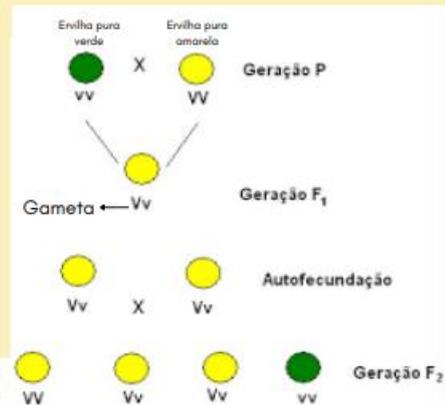


Gregor Mendel
(1822-1884)

Ainda não havia certeza se os resultados obtidos por Mendel, as famosas Primeira e Segunda Leis de Mendel, valeriam para todos os tipos de características e para outros organismos.

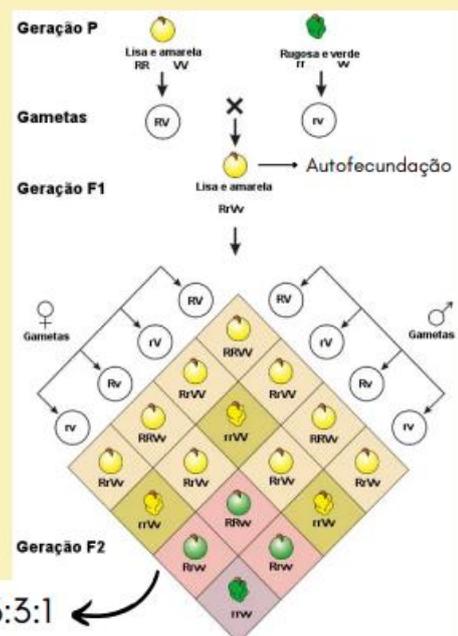
A Primeira Lei de Mendel (ou Princípio da Segregação dos Caracteres/Lei da Segregação) afirma que cada característica é condicionada por um par de fatores que se separam na formação dos gametas.

Proporção fenotípica 3:1



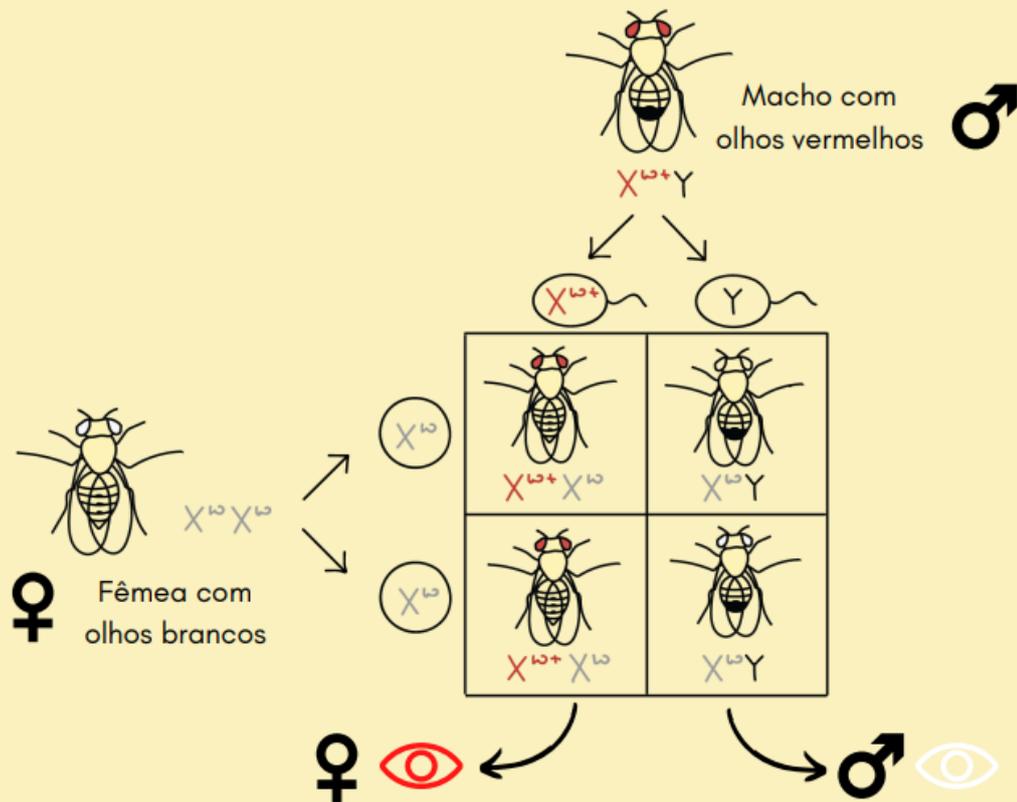
A Segunda Lei de Mendel (ou Lei da Segregação Independente) estabelece que os fatores para duas ou mais características se distribuem independentemente durante a formação dos gametas e se combinam ao acaso.

Proporção fenotípica 9:3:3:1



Os estudos de Mendel se restringiram a padrões de herança dominante e recessiva, e não se sabia onde estariam localizados os fatores mendelianos (hoje conhecidos como alelos).

Estas dúvidas começaram a ser esclarecidas quando o grupo Morgan, através da análise de cruzamentos com moscas de olhos vermelhos e de olhos brancos, demonstrou que a cor dos olhos de *D. melanogaster* era determinada por um gene localizado no cromossomo sexual X.



Pelos resultados destes cruzamentos Morgan descobriu que os mecanismos de herança, antes apenas dominante ou recessivo, também era autossômico ou ligado ao sexo.



Por suas fantásticas elucidaciones sobre o papel dos cromossomos nos mecanismos de herança, Morgan foi contemplado em 1933 com o Prêmio Nobel.

Os estudos do grupo Morgan foram alavancados pela descoberta de um grande número de mutações em *D. melanogaster*, as quais resultavam em padrões fenotípicos muito variáveis em relação ao padrão selvagem.



Mosca selvagem



Mosca mutante de olhos brancos



Mosca mutante de corpo escuro

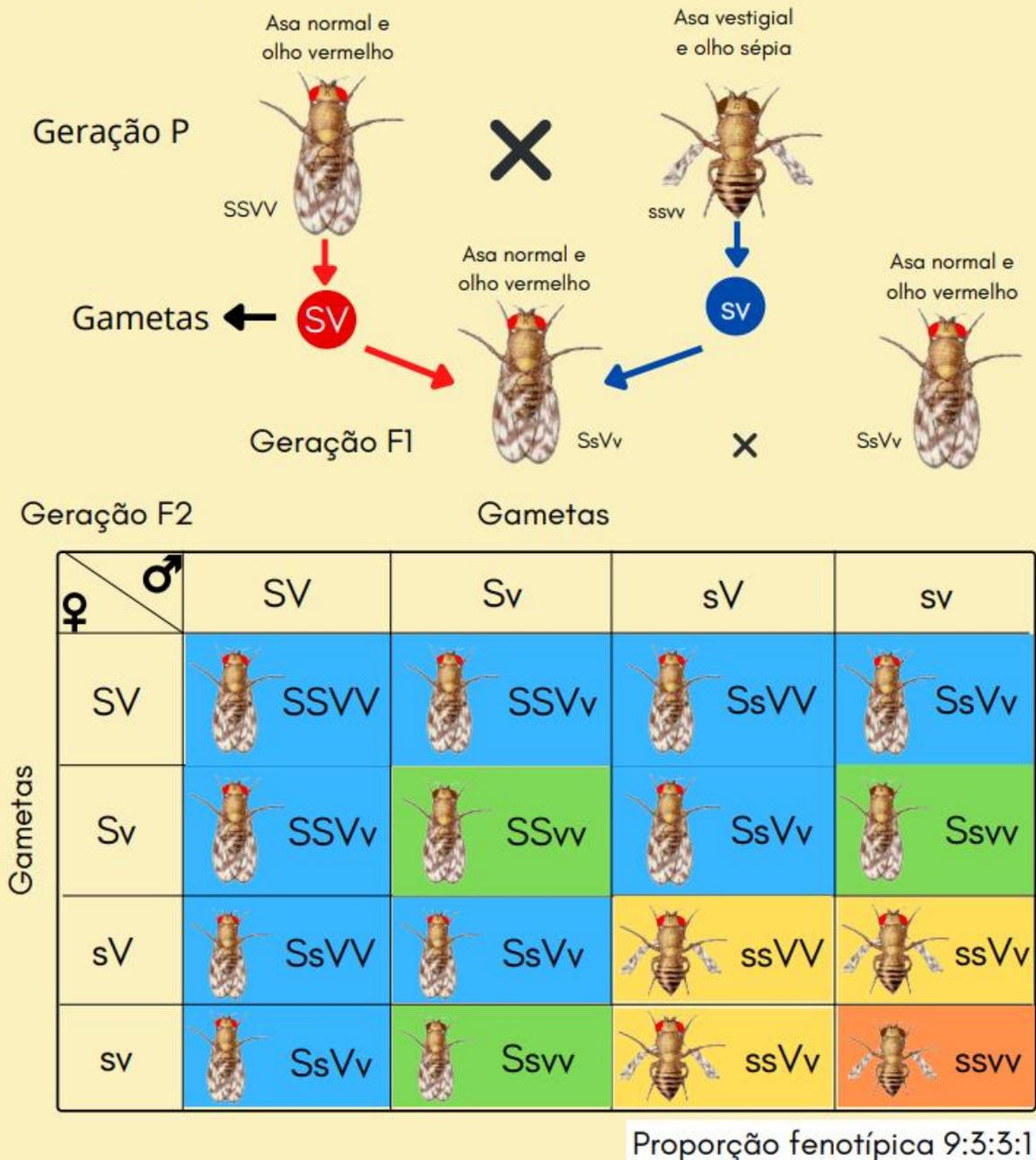


Mosca mutante com asas reduzidas

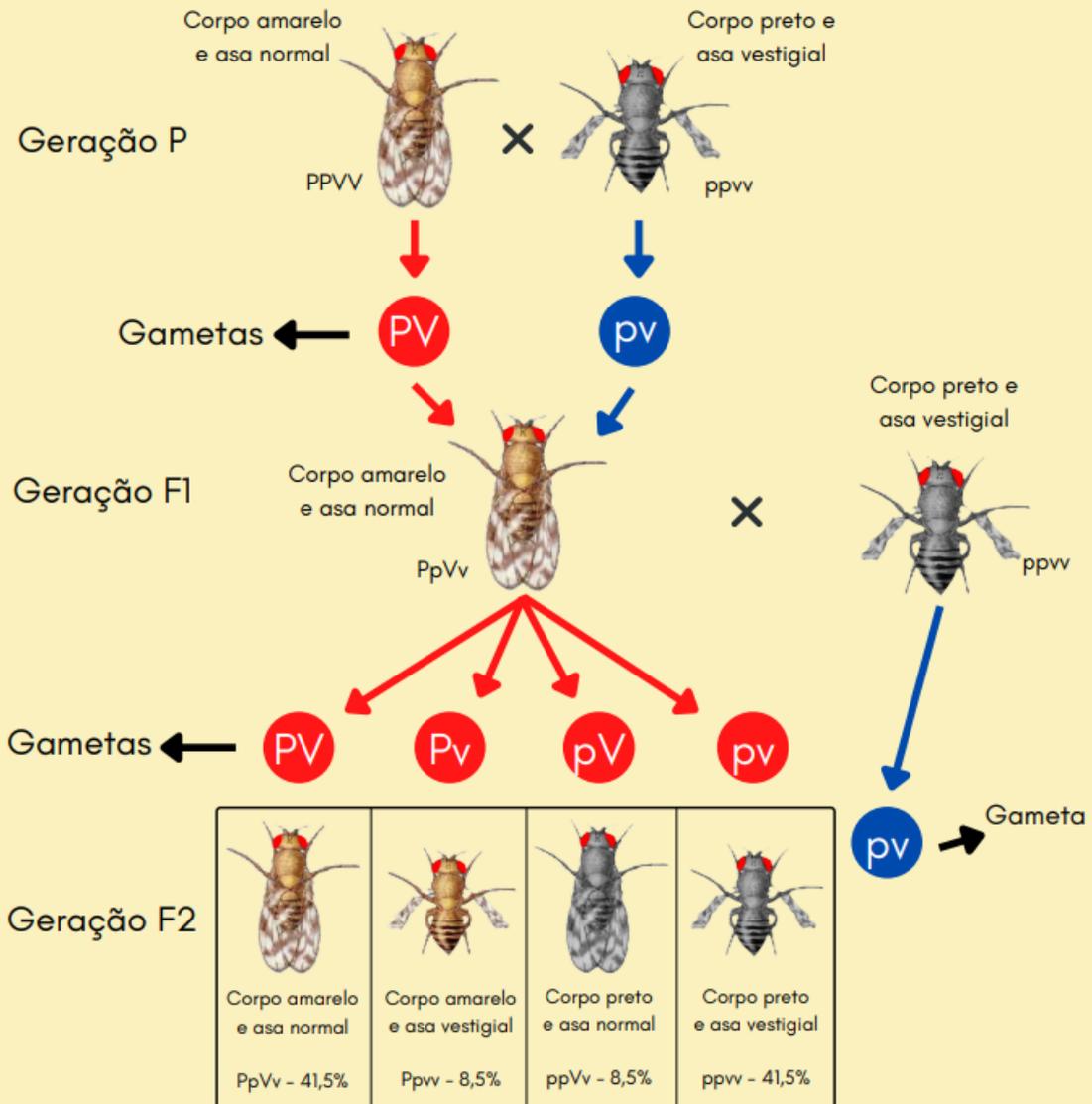


Em 1915, Morgan e seus colaboradores já haviam descoberto 85 mutações em *D. melanogaster*.

A partir de cruzamentos entre moscas selvagens e mutantes, diferindo para duas características, o grupo Morgan observou que algumas características, como a forma da asa e a cor do corpo, apresentavam segregação independente entre si, seguindo o postulado da Segunda Lei de Mendel.



Outras características, no entanto, como a cor do corpo e a forma da asa apresentavam ligação gênica, ou seja, as informações genéticas para essas características estavam juntas em um mesmo cromossomo.



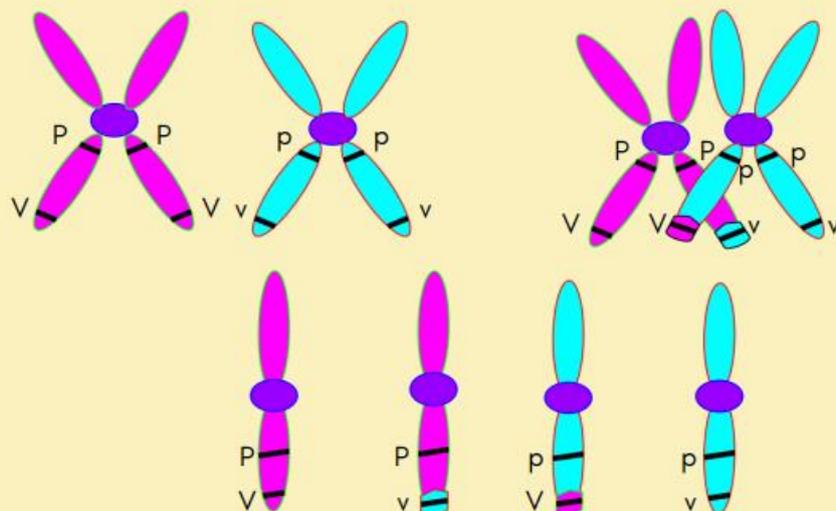
O grupo Morgan demonstrou a coincidência entre os grupos de ligação e o número de pares cromossômicos em *Drosophila melanogaster*. Com isso foi estabelecida outra premissa importante da área da genética: genes que estão em um mesmo cromossomo tendem a ser herdados juntos na formação dos gametas.

Inicialmente, o grupo Morgan não sabia explicar a presença de moscas com fenótipos recombinantes nos cruzamentos envolvendo características situadas em mesmo grupo de ligação. Veja que os fenótipos recombinantes aparecem na proporção de 8,5% no cruzamento acima.

Com base nos estudos citológicos de Frans Janssens, que propôs em 1909 a recombinação entre cromossomos homólogos na meiose, o grupo Morgan sugeriu que se as recombinações em *Drosophila melanogaster* ocorressem entre os genes situados no mesmo cromossomo a ligação entre eles seria rompida, formando cromátides recombinantes.



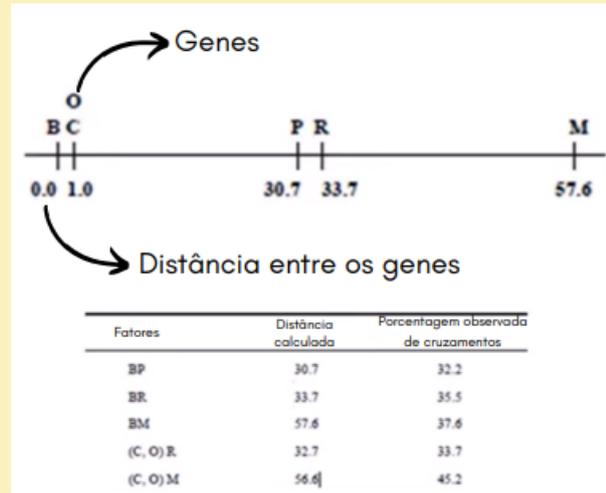
Frans Janssens
(1863-1924)



Alfred Sturtevant propôs a construção dos primeiros mapas genéticos a partir da estimativa da distância entre os genes, com base nas suas taxas de recombinação.

Assim, quanto maior a distância entre os genes em um mesmo cromossomo, maior será a taxa de recombinação entre eles.

Primeiro mapa genético



Neste mapa foram indicadas as posições e as distâncias dos primeiros genes nos cromossomos.



Não é curioso saber que os primeiros mapas cromossômicos foram construídos a partir de resultados de cruzamentos em laboratório, sem a necessidade de máquinas e equipamentos potentes para essas elucidações?

Em 1927, Hermann Muller, outro brilhante pesquisador do grupo Morgan, descobriu que raios X e radiações ionizantes eram capazes de provocar mutações e rearranjos cromossômicos em *D. melanogaster*.



Em 1946, Muller ganhou o Prêmio Nobel por essa descoberta.



Theophilus Painter
(1889-1969)

Em 1934, Theophilus Painter descobriu a presença de cromossomos politênicos em *D. melanogaster*.



Mas o que são cromossomos politênicos?

São aqueles formados pelo pareamento dos cromossomos homólogos, seguidos de sucessivos ciclos de replicação do DNA sem a separação das cromátides filhas resultantes.

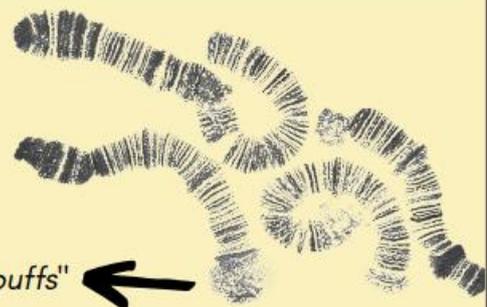
São constituídos por regiões claras (formadas pelo pareamento de regiões onde a cromatina está menos condensada) e escuras (onde a cromatina está mais condensada), se assemelhando aos códigos de barras presentes em produtos comerciais.

Esse padrão natural de bandamento torna os cromossomos politênicos muito úteis para estudos genéticos e evolutivos.



Nos cromossomos politênicos, podemos observar também o funcionamento dos genes, através das regiões de "puffs", que contém genes em transcrição.

Regiões de "puffs" ←

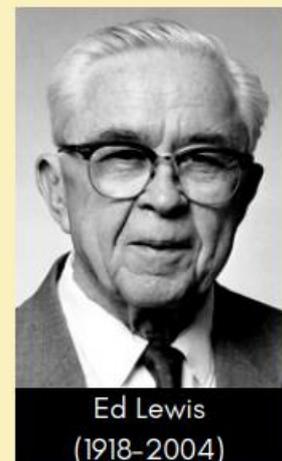
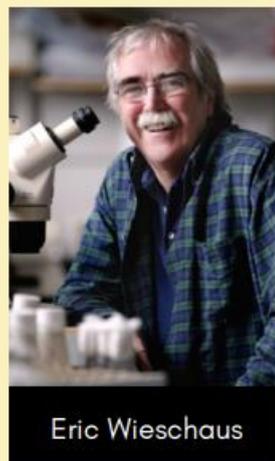


Em 1935, Calvin Bridges construiu um mapa registrando o padrão de bandas observado em cada cromossomo de *D. melanogaster*.

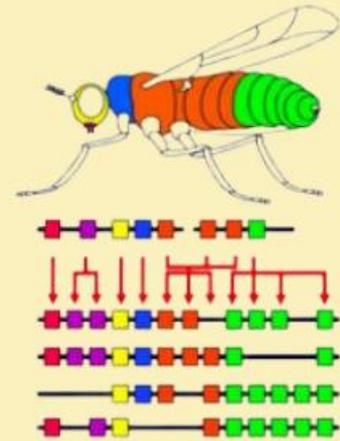


Esse mapa cromossômico foi importante para identificar as posições dos genes, as alterações cromossômicas (rearranjos, deleções e duplicações), e suas relações com alterações fenotípicas.

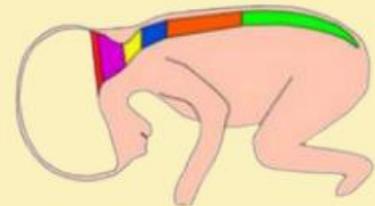
Em 1995, três pesquisadores (Christiane Nüsslein-Volhard, Eric Wieschaus e Ed Lewis) verificaram que um conjunto de genes que são importantes para o desenvolvimento embrionário de *D. melanogaster* também são fundamentais para o desenvolvimento de diversos organismos, incluindo humanos.



Apesar de serem muito diferentes, uma mosca e um humano apresentam conjuntos gênicos conservados ao longo do processo evolutivo.



Homologia dos genes que definem o padrão do eixo anteroposterior em humanos e na *Drosophila melanogaster*



Em 1995, Christiane Nüsslein-Volhard, Eric Wieschaus e Ed Lewis ganharam o Prêmio Nobel de Fisiologia ou Medicina por esta fantástica descoberta.

Em 2000 foi concluído o sequenciamento do genoma de *D. melanogaster*.

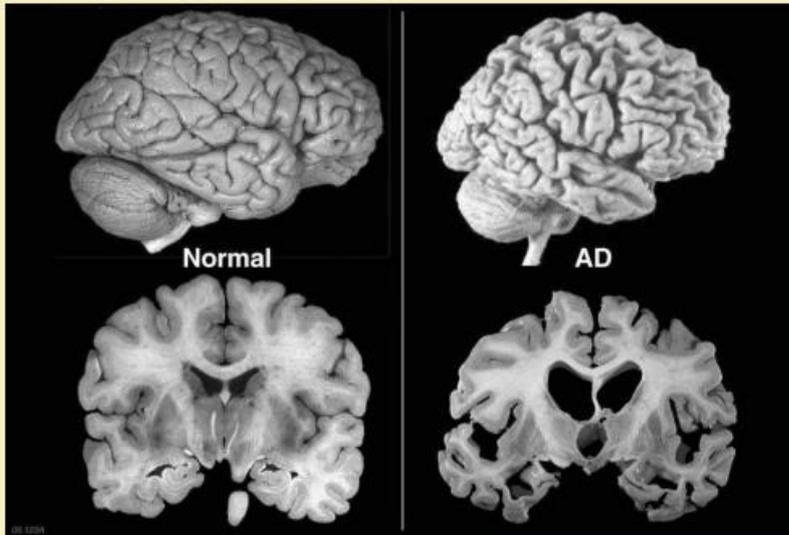
Em 2003 foi concluído o sequenciamento do genoma humano.

Capa da revista onde saiu a publicação do sequenciamento do genoma humano

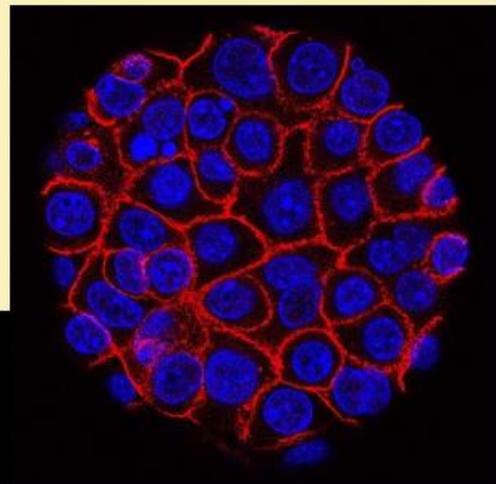


As comparações entre os genomas humano e de *D. melanogaster* revelaram que aproximadamente 75% dos genes de doenças humanas conhecidas têm uma correspondência reconhecível no genoma da *D. melanogaster*.

Deste modo, *D. melanogaster* também tem sido amplamente utilizada no estudo de várias doenças humanas, como neurodegeneração, doença de Alzheimer, distúrbios do sono, distúrbios convulsivos, doenças cardiovasculares e câncer.



Comparação entre
cérebro normal e o
de uma pessoa com
doença de Alzheimer



Células cancerígenas
vistas num microscópio

Referências

1. ADAMS, MD; CELNIKER, SE; HOLT, RA; EVANS, CA; GOCCAYNE, JD; AMANATIDES, PG; SCHERER, SE; LI, PW; HOSKINS, RA; GALLE, RF; ET AL. (2000). **The genome sequence of *Drosophila melanogaster***. *Science*, v. 287, p. 2185-95.
2. AMABIS, JM; MARTHO, GR. (2004). **Biologia Volume 3**. Editora Moderna.
3. AMABIS, JM; MARTHO, GR. (2015). **Biologia Volume 3**. Editora Moderna.
4. BÄCHLI, G. (2022). **TaxoDros: the database on taxonomy of *Drosophilidae***. Disponível em: <http://taxodros.unizh.ch>. Acesso em: 20 de março de 2022.
5. CARSON, HL. (1971). **The ecology of *Drosophila* breeding sites**. Harold L. Lyon Arboretum Lecture 2. University of Hawaii, p. 27.
6. CLUTTON-BROCK, TH. (1988). **Reproductive success: studies of individual variation in contrasting breeding systems**. Chicago: The University of Chicago Press, p. 548.
7. GOODSTEIN, JR. (1991). **The Thomas Hunt Morgan Era in Biology**. *Engineering and Science*, v. 54, p. 12-23.
8. HUNTER, N. (2015). **Meiotic recombination: the essence of heredity**. *Cold Spring Harbor perspectives in biology*, v. 7.
9. JENNINGS, BH. (2011). ***Drosophila*-a versatile model in biology & medicine**. *Materials today*, v. 14, p. 190-195.
10. LORETO, ÉLS. (2010). **2010: um século de *Drosophila* na genética**. *Genética na Escola*, Santa Maria RS, v. 5, n. 2, p. 42-47.
11. MIQUEL, J; LUNDGREN, PR; BENSCH, KG; ATLAN, H. (1976). **Effects of temperature on the life span, vitality and fine structure of *Drosophila melanogaster***. *Mech Ageing Dev*, v. 5, p. 347-370.

Referências

12. MULLER, HJ. (1928). **The Production of Mutations by X-Rays.** Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, v. 14, n. 9, p. 714-726.
13. PANDY, UB; NICHOLS, CD. (2011). **Human disease models in *Drosophila melanogaster* and its role of the fly in therapeutic drug discovery.** Pharmac Rev, v. 63, p. 411-436.
14. PIERCE, BA. (2013). **Genética: um enfoque conceitual.** Rio de Janeiro: GUANABARA KOOGAN.
15. ROBERTS, DB. (2006). ***Drosophila melanogaster: the model organism.*** Entomologia Experimentalis et Applicata, v. 121, p. 93-103.
16. SOUZA, PRE. et al. (2015). **Genética Geral Para Universitários.** Ed. 1, p. 78-80. Recife: Editora Universitária da UFRPE.
17. UGUR B, CHEN K, BELLEN HJ. (2016). ***Drosophila* tools and assays for the study of human diseases.** Dis Models Mech, v. 9, p. 235-244.
18. VA, DP; SA, AA; PAUL, SF. (2009). **Wonder animal model for genetic studies-*Drosophila melanogaster*-its life cycle and breeding methods-a review.** Sri Ramachandra Journal of Medicine, v. 2, n. 2, p. 33-38.
19. WHEELER, MR. (1987). ***Drosophilidae.*** In McAlpine, J.F. (Ed.), Manual of Nearctic Diptera v. 2, p. 1011- 1018.
20. YAMAGUCHI, M; YOSHIDA, H. (2018). ***Drosophila as a model organism.*** Drosophila Models for Human Diseases, p. 1-10.
21. YAMAMOTO, S; JAISWAL, M; CHARNG, W-L; GAMBIN, T; KARACA, E; MIRZAA, G; WISZNIEWSKI, W; SANDOVAL, H; HAELTERMAN, NA; XIONG, B; ET AL. (2014). **A *Drosophila* genetic resource of mutants to study mechanisms underlying human genetic diseases.** Cell, v. 159, p. 200-214.