

Trabalhando com conceitos fundamentais de genética: a proposta de uma sequência didática a ser testada

Ariane Brunelli¹, Lilian Al-Chueyr Pereira Martins²

¹ Programa de Pós graduação Interunidades, Universidade de São Paulo.

² Departamento de Biologia, Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo

Autor para correspondência: aribrunelli@usp.br

Palavras-chave: sequência didática, ensino de genética, ligação gênica, permutação



Considerando os diferentes estudos que apontam dificuldades por parte dos alunos no entendimento dos conceitos de genética relacionados à ligação gênica e permutação, este trabalho tem por objetivo oferecer uma contribuição para o ensino-aprendizagem destes conceitos. A contribuição consiste em uma sequência didática que ainda não foi testada.

A sequência didática que está sendo apresentada foi elaborada a partir de um estudo histórico sobre o desenvolvimento do conceito de ligação gênica no período compreendido entre 1902 a 1915. Procurou-se privilegiar não apenas a dimensão pedagógica, mas também a dimensão epistêmica considerando o processo de elaboração, métodos e validação do conhecimento científico, como proposto por Martine Méheut (2005).

Sugere-se que o material histórico seja trabalhado na sequência didática, em uma abordagem do tipo *estudo de caso*. Quanto à dimensão pedagógica, foram sugeridas atividades que favorecem as interações aluno-aluno e aluno-professor, pela utilização de métodos cooperativos. Além disso, será utilizado o recurso de modelos, prevendo um maior envolvimento dos estudantes, de modo a tornar a aprendizagem significativa.

A SEQUÊNCIA DIDÁTICA: LINKAGE, PERMUTAÇÃO E MAPEAMENTO CROMOSSÔMICO – TRABALHANDO COM CONCEITOS FUNDAMENTAIS DA GENÉTICA CLÁSSICA

Público-alvo: Alunos do 3º ano do Ensino Médio da rede estadual de ensino, ou alunos de escolas privadas, com os quais deveria ser estudada a ligação gênica durante o ano letivo.

Tempo estimado: 6 aulas consecutivas, de aproximadamente 50 minutos cada.

Duração: 3 semanas (considerando 2 aulas semanais de Biologia na grade curricular).

1ª AULA – EPISÓDIO HISTÓRICO

Objetivos:

- ♦ Apresentar o problema de investigação estudado por Carl Correns, William Bateson e Thomas Hunt Morgan (características que eram herdadas associadas,

contrariando o princípio da segregação independente de Mendel).

- ♦ Apresentar o contexto histórico da proposta do conceito de ligação gênica por Morgan.
- ♦ Discutir aspectos da natureza da ciência, tendo como base o episódio histórico apresentado.

Duração: 1 aula de aproximadamente 50 minutos

Material:

- ♦ Texto didático: O episódio histórico sobre a proposta do conceito de ligação gênica. (Apêndice A)
- ♦ Quadro negro e giz

Procedimentos

A abordagem dos conceitos de ligação, permutação e mapas genéticos, sucede o estudo da Segunda Lei de Mendel. A esta altura, os alunos já estudaram os processos de divisão celular, a primeira e a segunda lei de Mendel. Sendo assim, o professor deverá iniciar a aula apresentando a situação-problema, que norteará o estudo através do episódio histórico. A situação-problema apresentada será justamente uma das restrições à segunda lei de Mendel, observada por William Bateson e seus colaboradores.

A seguir, sugere-se que o professor escreva a situação-problema no quadro negro:

Situação-problema:

Na ervilha de cheiro (*Lathyrus odoratus*) as flores podem ser azuis ou vermelhas, e seu padrão na planta pode ser ereto ou pendente (capuz). O caráter azul é dominante em relação ao vermelho, assim como o ereto em relação ao pendente. Os resultados dos cruzamentos experimentais mostraram que os descendentes, na segunda geração, apresentavam apenas dois tipos de combinações: as flores vermelhas apresentavam padrão ereto, enquanto as flores azuis apresentavam caráter capuz, ou seja, esse resultado não estava de acordo com a segunda lei de Mendel, em que deveriam aparecer muito mais combinações. Imaginar o que possa ter ocorrido. Qual seria a proporção fenotípica esperada na geração F2, de acordo com os padrões da lei da segregação independente de Mendel?



Figura 1.
Imagem de *Lathyris odoratus*.

Essa situação-problema é colocada com dois propósitos: primeiro, é fazer um levantamento dos conhecimentos prévios dos alunos para que o professor possa identificar se de fato os alunos compreendem qual seria o comportamento dos cromossomos durante a meiose e sua distribuição independente, de acordo com a segunda lei de Mendel. Como segundo propósito, esta situação motivará a leitura do texto didático que mostra as hipóteses levantadas pelos pesquisadores da época para explicar este fenômeno.

Atividade 1

O professor então solicitará que os alunos respondam a questão registrada em caderno (10 minutos).

Sugere-se que, após o tempo destinado para a resolução dos alunos, o professor realize os cálculos da proporção fenotípica no quadro, para que os alunos possam verificar se estavam certos quanto ao raciocínio. Desta forma, mesmo os alunos que não tiverem sucesso na resolução, poderão ter a oportunidade de rever o procedimento pela resolução do professor.

Atividade 2

Dando continuidade, o professor fará uma rápida contextualização sobre o fenômeno descrito na situação-problema, esclarecendo que tal situação foi de fato observada por um pesquisador – William Bateson, por volta de 1900, ao testar se os princípios de Mendel

aplicavam-se a diversos organismos. Bateson e seus colaboradores trabalhavam com cruzamentos experimentais de forma semelhante a Mendel e, em seus estudos, depararam-se com situações que estavam de acordo com os princípios de Mendel, mas também encontraram casos em que não estavam de acordo com o princípio da segregação proposto por Mendel, em que algumas características eram herdadas associadas.

O professor então apresentará um texto tratando deste episódio histórico (apêndice A) para que os alunos realizem a leitura (20 minutos).

Atividade 3

Após a leitura do texto (apêndice A), o professor conduzirá a discussão sobre o episódio histórico, procurando, através do diálogo com os alunos, colher as impressões deles (20 minutos). Seguem algumas questões que podem ser apresentadas aos alunos pelo professor para direcionar a discussão:

- ♦ Em sua opinião, qual dos pesquisadores ofereceu a explicação mais adequada para o fenômeno?
- ♦ A seu ver, é possível que resultados de experimentos possam ser interpretados de modos diferentes?
- ♦ O período histórico retratado situa-se nas duas primeiras décadas do século XX, quando estava ocorrendo o estabelecimento da teoria-mendeliana cromossômica. Naquela ocasião, diversos cientistas não aceitavam que os fatores mendelianos estivessem localizados nos cromossomos (dentre eles Bateson e Morgan) e que fosse possível estabelecer um paralelo entre o comportamento dos cromossomos durante as divisões celulares com o que havia sugerido por Mendel, matematicamente, para o comportamento dos fatores. Havia dificuldades nos estudos citológicos, não se tinha conhecimento sobre a constituição dos fatores (genes), nem se dispunha dos recursos tecnológicos atuais. Você considera que as hipóteses e explicações dadas pelos cientistas estudados eram procedentes para a época?

O professor direcionará a discussão de modo a trabalhar com aspectos da natureza da ciência. Assim, os estudantes poderão perceber que, a partir de um mesmo fenômeno, podem surgir diferentes interpretações, e que estas interpretações podem estar relacionadas a teorias diferentes. Além disso, poderão verificar que os cientistas podem mudar de ideia e isso pode ocorrer quando encontram explicações mais adequadas para determinados fenômenos. Proporcionará uma visão da ciência como um empreendimento coletivo, que envolve acertos e erros e que muitas ideias que não são aceitas pela ciência atual eram plausíveis no passado.

2ª AULA – LIGAÇÃO E TAXA DE PERMUTAÇÃO

Objetivos

- ♦ Compreender o mecanismo de ligação gênica (Explicação atual);
- ♦ Entender como as proporções mendelianas do dihibridismo alteram-se quando há ligação entre os genes.
- ♦ Compreender a relação entre o comportamento dos cromossomos na meiose, taxa de permutação e ligação.
- ♦ Diferenciar as posições *cis* e *trans* dos genes no cromossomo

Duração: 1 aula de aproximadamente 50 minutos

Material:

- ♦ Lousa e gizes / pincéis coloridos
- ♦ Folha de atividade

Procedimento

Trata-se de uma aula mais expositiva, na qual o professor oferecerá a explicação atual sobre ligação gênica. É importante que, desde os estudos de Morgan até a interpretação atual sobre o fenômeno, transcorreram algumas décadas e que, inclusive, a terminologia utilizada atualmente sobre a configuração dos genes nos cromossomos (posição *cis* e *trans*) foi adotada a partir de 1953, após os estudos de Watson e Crick para elucidação da estrutura da molécula de DNA.

O professor pode começar fazendo a representação na lousa do comportamento dos cromossomos durante a meiose de acordo com os conhecimentos atuais. Posteriormente, o professor representará dois genes situados no mesmo cromossomo e seus respectivos comportamentos durante a meiose. O desenvolvimento da aula continua com a representação do fenômeno de permutação. Nesse momento, o professor pode relembrar ou explicar novamente a permutação, mostrando um caso em que esse fenômeno acontece entre os genes em questão. Dessa forma, os alunos poderão perceber que, ainda que dois genes estejam localizados no mesmo cromossomo, pode haver produção de qua-

tro tipos de gametas, caso ocorra permutação entre esses genes.

O professor deve enfatizar que a permutação é um fenômeno aleatório e que, quanto maior a distância entre os dois genes, maior a chance de ela ocorrer (30 minutos).

Atividade 4

Após a explicação do professor, os alunos deverão responder a algumas questões para que seja feita uma avaliação sobre o entendimento dos alunos em relação ao conteúdo exposto. Sugere-se que esta atividade seja realizada em folha à parte, para ser entregue ao professor, na mesma aula (20 minutos).

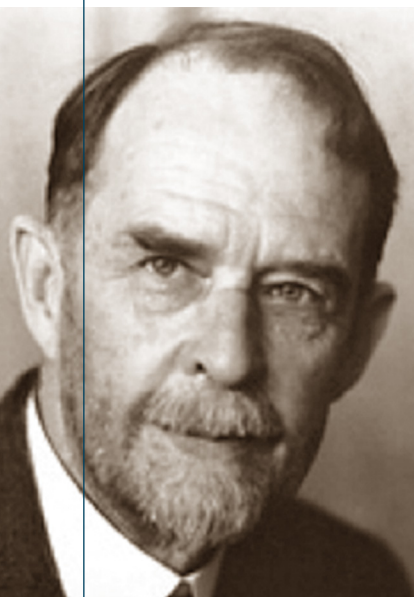


Imagem: http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/1933/morgan-bio.html

Leia o texto a seguir para responder às questões:

THOMAS MORGAN E A LIGAÇÃO GÊNICA

Estudando *Drosophila*, a mosca das frutas, na década de 1910, Thomas Hunt Morgan não encontrou as proporções genotípicas mendelianas esperadas no cruzamento que relacionava a cor dos olhos – púrpura/vermelho – e o tamanho da asa – longa/vestigial. A característica da cor dos olhos púrpura é dominante sobre a cor vermelha, assim como o tamanho da asa longa sobre a vestigial.

Ao cruzar uma mosca diíbrida (PpVv) com uma dupla recessiva (ppvv), Morgan obteve o seguinte resultado: 1339 moscas de olhos púrpura e asas longas; 1195 de olhos vermelhos e asas vestigiais; 151 moscas de olhos púrpura e asas vestigiais; 154 de olhos vermelhos e asas longas.

Morgan interpretou esse resultado (1:1:1:1), muito diferente do esperado, como se devendo à localização próxima dos fatores (mais tarde chamados genes) para a cor dos olhos e para o tamanho da asa no mesmo cromossomo. Morgan sugeriu ainda que, no pareamento dos homólogos, durante a meiose, ocorria ocasionalmente uma troca entre as cromátides, o que explicava o surgimento de recombinantes (púrpura/vestigial e vermelho/longa). Porém, somente muitos anos mais tarde, Curt Stern apresentou a evidência citológica (microscópica) de que isso ocorria em *Drosophila*.

1. De acordo com as explicações atuais discutidas nesta aula, nos espermatozoides de um indivíduo AB/ab (os genes **A** e **B** estão em um dos cromossomos homólogos e os genes **a** e **b** no outro) encontram-se necessariamente apenas as combinações AB e ab? E nas células da epiderme desse indivíduo? Justifique sua resposta.
2. Considerando a localização anterior dos genes A e B no cromossomo, supondo que não haja permutação entre eles, quais são os gametas produzidos pelo indivíduo portador desses cromossomos?
3. Se os genes A e B estão ligados com 30% de taxa de permutação, qual o resultado do retrocruzamento?

3ª AULA – CALCULANDO A TAXA DE PERMUTAÇÃO

Objetivos

- ✦ Calcular a taxa de permutação com base nos resultados de cruzamentos;
- ✦ Determinar a posição (cis ou trans) dos genes nos cromossomos;

Duração: 1 aula de aproximadamente 50 minutos

Material

- ✦ Calculadora
- ✦ Cartões ilustrativos com situação-problema

Procedimento

Os alunos deverão se organizar em grupos, visando favorecer a participação e o envolvimento de todos, sugere-se que os grupos sejam de, no máximo, 5 alunos. Cada grupo receberá um cartão ilustrativo, que apresenta os resultados de cruzamentos testes. Com base na análise dos resultados dos cruzamentos, os alunos deverão determinar se é um caso de segregação independente ou de genes localizados no mesmo cromossomo. Em se tratando de casos de ligação, os alunos devem determinar também a taxa

de permutação e a posição dos genes no cromossomo.

Procurando trabalhar também com a oralidade, sugere-se que cada grupo apresente para a sala a resolução de seu exercício, explicitando sua linha de raciocínio. Trata-se de uma situação oportuna para que o professor possa avaliar o entendimento dos estudantes em relação ao assunto abordado, além de favorecer intervenção imediata do educador, caso necessário.

Atividade 5

Estes cartões apresentam situações-problema nas quais o aluno terá que relacionar os conceitos aprendidos até esta etapa. A dinâmica desta atividade permite trabalhar com exercícios para além da abordagem dita como “tradicional”. Ao invés de simplesmente responder ao exercício escrito proposto no livro, por exemplo, os alunos trabalharão de maneira colaborativa (em grupo), com um recurso um pouco mais atraente devido às ilustrações com cores chamativas, além de ter a oportunidade de argumentar oralmente sobre o raciocínio desenvolvido para resolver a questão.

São diferentes cartões, com situações distintas, que devem ser distribuídos para os grupos. Cada grupo receberá um cartão diferente.

Lathyrus odoratus
 FLOR PÚRPURA / PÓLEN LONGADO (PpLl) x FLOR VERMELHA / PÓLEN REDONDO (ppll)
 Offspring: 481 (PpLl), 51 (Ppll), 52 (pPll), 480 (ppll)
 Com base nos resultados deste cruzamento responda:
 a) Trata-se de um caso de ligação gênica ou de segregação independente?
 b) Em caso de ligação gênica, calcule a porcentagem de permutação entre os genes e determine a posição (cis ou trans) dos mesmos no cromossomo.

Solanum lycopersicum
 FRUTO ARREDONDADO/FOLHA NORMAL (AaMm) x FRUTO OVAL/ FOLHA MANCHADA (aamm)
 Offspring: 74 (AaMm), 125 (AaMm), 129 (AaMm), 72 (AaMm)
 Com base nos resultados deste cruzamento responda:
 a) Trata-se de um caso de ligação gênica ou de segregação independente?
 b) Em caso de ligação gênica, calcule a porcentagem de permutação entre os genes e determine a posição (cis ou trans) dos mesmos no cromossomo.

Pisum sativum
 Semente amarela / lisa (VvRr) x Semente verde / rugosa (vvrr)
 Offspring: 198 (VvRr), 201 (VvRr), 200 (VvRr), 199 (VvRr)
 Com base nos resultados deste cruzamento responda:
 a) Trata-se de um caso de ligação gênica ou de segregação independente?
 b) Em caso de ligação gênica, calcule a porcentagem de permutação entre os genes e determine a posição (cis ou trans) dos mesmos no cromossomo.

Figura 2. Exemplos dos cartões ilustrativos com situações-problema.

4ª AULA – MAPAS GENÉTICOS

Objetivos

- ♦ Compreender a relação entre a taxa de permutação e a distância entre os genes.
- ♦ Aplicar adequadamente a unidade de medida (morganídeos/unidades de recombinação) nos mapas gênicos.
- ♦ Determinar a distância relativa entre os genes na montagem de um mapa genético.

Duração: 1 aula de aproximadamente 50 minutos

Material

- ♦ Quadro negro e giz
- ♦ Data show
- ♦ Animação representando o fenômeno de crossing-over. (<http://www.youtube.com/watch?v=qCrulK8PPAg>)
- ♦ Folha de atividade

Procedimento

O professor deverá, inicialmente, oferecer a explicação sobre como determinar

a distância entre os genes, e sua aplicação na elaboração dos mapas gênicos. (20 minutos). Durante a explicação, o professor poderá utilizar como recurso, animação disponível no *site youtube* (<http://www.youtube.com/watch?v=qCrulK8PPAg>), tornando mais visual para o aluno o fenômeno estudado.

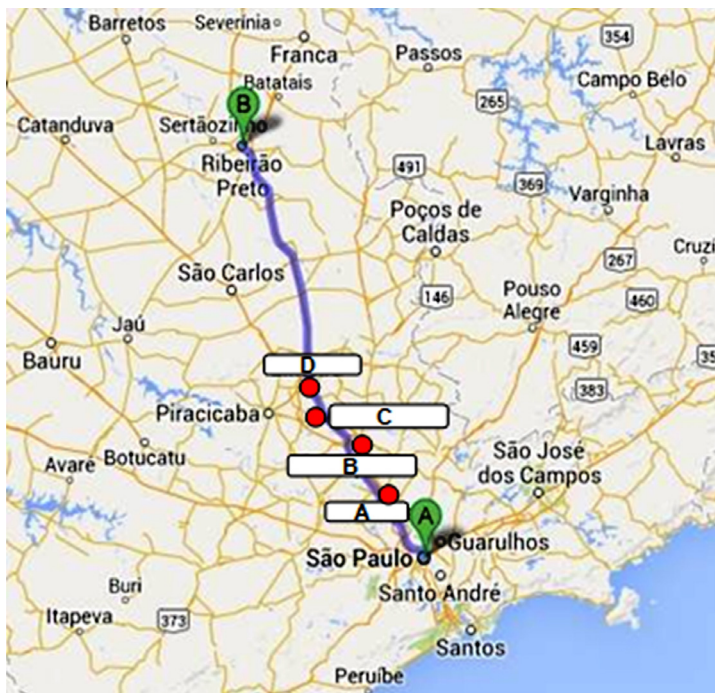
Após a explicação do professor, os alunos deverão responder as questões da folha de atividade (20 minutos).

Os dez minutos finais da aula devem ser destinados à correção das atividades, esclarecendo as possíveis dúvidas apresentadas pelos alunos.

Atividade 6

Esta folha de atividade propõe trabalhar o conhecimento sobre mapas gênicos, por meio de analogia, com a pretensão de facilitar a aprendizagem do conteúdo, uma vez que pode servir como um modelo mental para a compreensão de um novo domínio. Estabelece relações entre o conhecido e o pouco conhecido.

1. A ilustração a seguir mostra a distância entre cidades, ao longo de uma estrada. Você seria capaz de descobrir quais são as cidades A, B, C e D no mapa?



Cidades	Distância
São Paulo – Ribeirão Preto	316 km
Ribeirão Preto – Limeira	171 km
Limeira – Americana	27 km
Ribeirão Preto – Americana	198 km
Jundiaí – Campinas	40 km
Campinas – Limeira	55 km
Jundiaí – Limeira	95 km
Jundiaí – São Paulo	60 km
Campinas – Americana	38 km
Jundiaí – Americana	78 km
São Paulo – Limeira	148 km

2. Um pesquisador em seu laboratório de genética está tentando determinar a localização de quatro genes (A, B, C e D). Em seus estudos, o pesquisador reuniu as seguintes informações: não há permutação entre os genes A e B; a frequência de recombinação entre os genes A e C é de 33%; a frequência de recombinação entre os genes A e D é de 28%; a frequência de recombinação entre os genes C e D é de 5%. Qual é a provável posição desses genes no cromossomo?

5ª E 6ª AULA – CRIANDO MODELOS PARA REPRESENTAÇÃO DE LINKAGE

Objetivos

- ♦ Promover a compreensão e solidificação do conceito de linkage
- ♦ Representar um cromossomo e seus genes por meio de modelagem
- ♦ Determinar a distância relativa entre os genes no cromossomo, de acordo com a taxa de permutação.

Duração: 2 aulas de aproximadamente 50 minutos cada.

Material

- ♦ Palitos de churrasco
- ♦ Canudos coloridos
- ♦ Fita adesiva
- ♦ Etiquetas
- ♦ Canetas hidrocor coloridas
- ♦ Tesoura
- ♦ Cartão-questão
- ♦ Cartolina

Procedimento

Esta aula propõe a utilização de uma atividade de modelagem colaborativa, visando, além da motivação e envolvimento dos alunos, melhor entendimento sobre os aspectos que envolvem o conceito de ligação, permutação e mapeamento gênico.

Solicitar que os alunos organizem-se em grupos de aproximadamente 4 indivíduos. Cada grupo receberá os seguintes materiais:

- ♦ 1 cartão-questão
- ♦ Canudos coloridos
- ♦ 2 palitos de churrasco
- ♦ Tesoura, cola, e fitas adesivas
- ♦ Etiquetas com identificação dos genes

O cartão com uma situação-problema deverá ser respondido, tendo como recurso a elaboração dos modelos cromossômicos para o mapeamento genético dos genes em ligação.

O professor deverá explicar que o palito representa o cromossomo, e os pedacinhos de canudos coloridos servirão para representar os genes a serem mapeados no cromossomo. Os alunos deverão realizar a montagem em cartolina, para posterior apresentação.

Atividade 7

SITUAÇÃO-PROBLEMA:

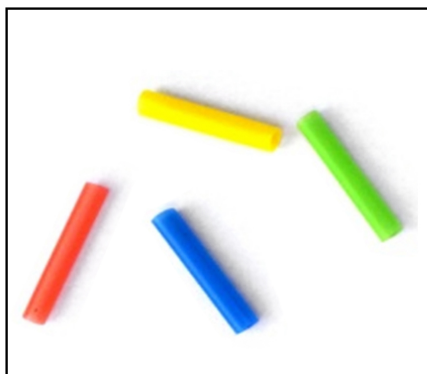
(Fuvest-SP) Um organismo homocigoto para os genes A, B, C, D, (AABBCDD) todos localizados em um mesmo cromossomo, é cruzado com outro que é homocigoto recessivo para os mesmos alelos (aabbccdd). O retrocruzamento de F1 (com duplo recessivo) mostra os seguintes resultados: não ocorreu permuta entre os genes A e C; ocorreu 20% de permuta entre os genes A e B, e 30% entre A e D; ocorreram 10% de permuta entre os genes B e D.

- Baseando-se nos resultados acima, represente, por meio de modelos, a sequência mais provável desses quatro genes no cromossomo, a partir do gene A.
- Qual seria a consequência, em termos genéticos e evolutivos, das permutações descritas?

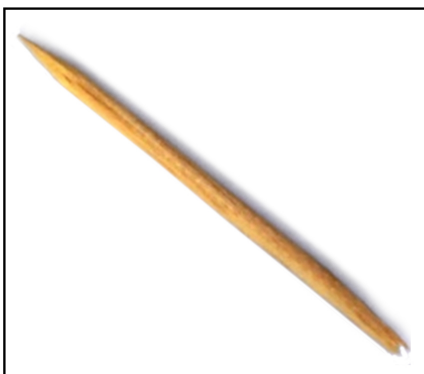


MATERIAIS UTILIZADOS PARA MODELAGEM

Pedaços de canudos representando os genes



Palito de churrasco



MODELO MAPAS GÊNICOS

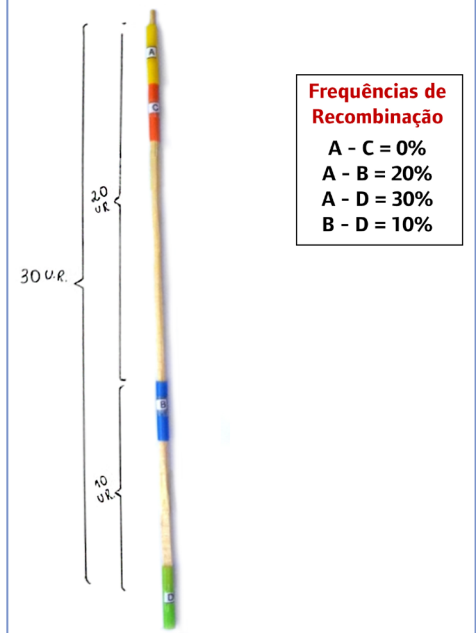


Figura 3. Ilustrações do modelo cromossômico para ligação, criado com canudos.

AVALIAÇÃO

É importante que a avaliação seja contínua e considere para nota não apenas uma prova escrita, mas todo o contexto em que o conteúdo foi desenvolvido. A sequência didática apresenta sete atividades a serem aplicadas aos alunos, às quais podem ser atribuídas notas. Houve uma preocupação em proporcionar diferentes oportunidades de envolvimento dos alunos: participação no debate coletivo, atividade escrita individual, atividades em grupo, exposição oral e construção do modelo.

EPISÓDIO HISTÓRICO: O DESENVOLVIMENTO DO CONCEITO DE LIGAÇÃO GÊNICA

A partir de 1900, diversos pesquisadores como, por exemplo, William Bateson (1861-1926) e Lucien Cuénot (1866-1951), trabalhando com cruzamentos experimentais em organismos diferentes de ervilha, encontraram desvios do princípio da segregação de Mendel. Ao mesmo tempo, estavam sendo desenvolvidos estudos citológicos por vários pesquisadores como, por exemplo, Edmund B. Wilson (1856-1939) Walter Sutton (1877-1916) e Theodor H. Boveri (1862-1915). Alguns desses pesquisadores

acreditavam que era possível estabelecer uma relação entre o comportamento dos cromossomos durante a divisão celular e os princípios de Mendel que eram percebidos nos resultados de cruzamentos experimentais.

O botânico Carl Correns, em 1900, relatou alguns casos em que as características eram herdadas associadas. Esses casos foram observados no cruzamento de duas linhagens da planta *Matthiola*: uma das variedades possuía flores coloridas com folhas peludas; já a outra apresentava flores brancas e folhas lisas. Na primeira geração (que atualmente chamamos de F1), Correns obteve apenas flores coloridas com folhas peludas. Ao cruzar os descendentes da primeira geração entre si, na geração seguinte (atualmente conhecida como F2), ele obteve somente duas das combinações parentais na proporção de 3:1, ao contrário do esperado.

Em 1902, trabalhando com cruzamentos experimentais na planta *Matthiola*, o naturalista inglês Willian Bateson e Edith Saunders (1865-1945), de modo análogo a Correns, observaram que algumas características eram herdadas juntas, contrariando o princípio da segregação independente de Mendel. Ao estudar as ervilhas de cheiro (*Lathyrus odoratus*), encontraram uma associação entre a cor das flores e formato do pólen. Observaram que, quando as flores eram púrpura, o

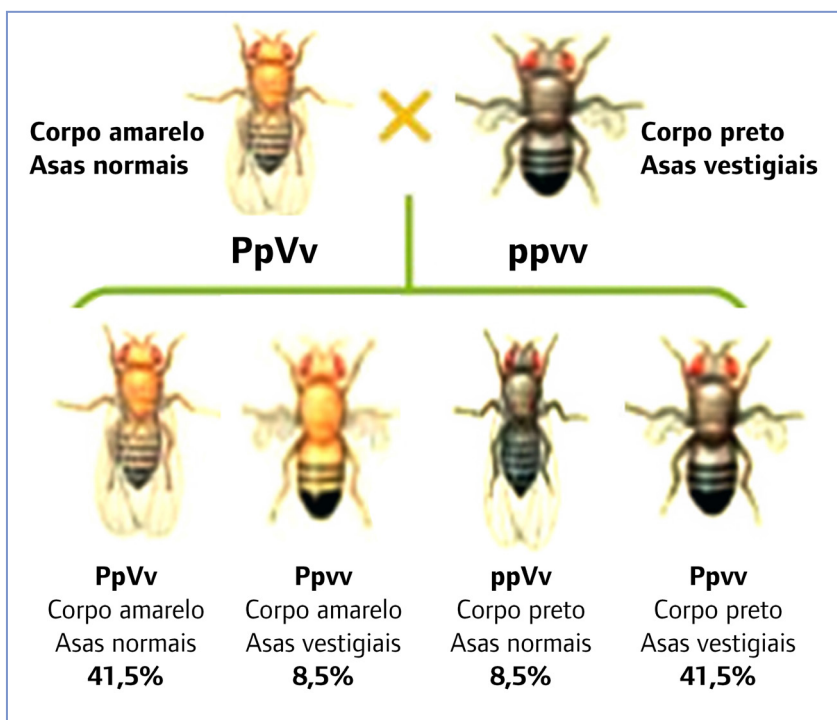
pólen era alongado, já nas flores vermelhas o pólen era arredondado. Bateson e seu grupo supuseram que os fatores poderiam exercer atrações entre si, elaborando a hipótese da presença-ausência. De acordo com esta hipótese, em alguns casos haveria atração ou associação entre fatores, o que fazia com que determinadas características sempre fossem herdadas juntas; em outros casos, haveria repulsão entre fatores, cujas características nunca apareceriam juntas.

Anos mais tarde, por volta de 1911, Bateson e Reginald Crundall Punnett (1875–1967) procuraram explicar o fenômeno de modo diferente. Propuseram a hipótese da reduplicação, entendendo que poderia haver um mecanismo que durante a gametogênese levasse à produção de mais gametas de determinados tipos do que de outros. Em nenhuma dessas duas explicações foi feita menção aos cromossomos.

Em 1911 o zoólogo norte-americano Thomas Hunt Morgan (1866-1945) e seus colaboradores estavam se dedicando à genética da mosca das frutas, *Drosophila melanogaster*. Eles constataram que em alguns cruzamentos experimentais os descendentes apresentavam algumas características que eram herdadas associadas. Por exemplo, se um macho com asas rudimentares fosse cruzado com fêmeas da linhagem da qual ele provinha todos

os descendentes apresentavam asas longas. Porém ao serem cruzados entre si, eram produzidos 5850 indivíduos com asas normais, e 83 machos com asas rudimentares. Cruzando machos com asas rudimentares com fêmeas selvagens em F1 apareceram apenas descendentes de asas longas. Porém, em F2 apareceram 32 machos de asas rudimentares e 8459 machos e fêmeas com asas normais. Morgan concluiu que o caráter asa rudimentar poderia estar ligado ao sexo. Depois disso ele e seu grupo encontraram várias outras características não relacionadas ao sexo que eram herdadas associadas como, por exemplo, a cor de corpo amarela e a ausência de asas. Porém, sua explicação era diferente daquela oferecida pelo grupo de Bateson. Em 1911 Morgan havia sugerido a Sturtevant, um de seus colaboradores, que os fatores estivessem localizados ao longo dos cromossomos. Assim, estando mais próximos, teriam a tendência de serem herdados juntos.

Morgan chamou o fenômeno de *linkage* (ligação). Eles e seus colaboradores registravam cuidadosamente esses mutantes e estudavam seus padrões hereditários através de cruzamentos e retrocruzamentos. Entre as mutações encontradas, podem ser mencionadas o corpo amarelo (em oposição ao corpo preto) e as asas vestigiais (em oposição às asas normais de tamanho maior).



Os estudos com *Drosophila* avançaram e em após alguns anos, o grupo de Morgan havia acumulado grande quantidade de dados. O grupo passou a organizar os dados da seguinte forma: conforme observavam casos de ligação entre dois fatores (atualmente denominados genes), estes eram agrupados em uma mesma lista; já para os casos em que se observava que dois fatores quaisquer segregavam independentemente, estes eram agrupados em listas separadas. Desta forma, com a quantidade de dados acumulados, Morgan e seus colaboradores conseguiram abrir quatro listas de grupos de genes ligados.

Através deste episódio histórico, é possível perceber que um mesmo fenômeno (características que eram herdadas juntas, contrariando o princípio mendeliano da segregação) nos resultados de cruzamentos experimentais foi interpretado de modos diferentes por Bateson e Morgan. A explicação de Bateson não envolvia cromossomos, mas estava relacionada à gametogênese. Já a explicação de Morgan envolvia os cromossomos. Além disso, ilustra como o empreendimento científico é resultado de um trabalho coletivo que envolve acertos e erros.

REFERÊNCIAS

MÉHEUT, M. Teaching-learning sequences tools for learning and/or research. *Research and the quality of science education*. Springer Netherlands, 2005, p. 195-207.

PARA SABER MAIS

ALLEN, G. E. *Thomas Hunt Morgan: the man and his science*. Princeton: Princeton University, 1978.

ALLCHIN, D. Problem-and case-based learning in science: an introduction to distinctions, values, and outcomes. *CBE-Life Sciences Education*, v. 12, n. 3, p. 364-372, 2013.

KINNEAR, J. F. Using an historical perspective to enrich the teaching of linkage in Genetics. *Science Education*, v. 75, n. 1, p. 69- 85, 1991.

ENCARTES

AULA 3 – Atividade 5

Lathyrus odoratus

FLOR PÚRPURA / PÓLEN ALONGADO **PpLI**

FLOR VERMELHA / PÓLEN REDONDO **ppII**

x

481

51

52

480

Com base nos resultados deste cruzamento responda:

a) Trata-se de um caso de ligação gênica ou de segregação independente?

b) Em caso de ligação gênica, calcule a porcentagem de permutação entre os genes e determine a posição (*cis* ou *trans*) dos mesmos no cromossomo.

Solanum lycopersicum

FRUTO ARREDONDADO/FOLHA NORMAL



AaMm

x

FRUTO OVAL / FOLHA MANCHADA



aamm



74



125



129




72

Com base nos resultados deste cruzamento responda:

- a) Trata-se de um caso de ligação gênica ou de segregação independente?
- b) Em caso de ligação gênica, calcule a porcentagem de permutação entre os genes e determine a posição (*cis* ou *trans*) dos mesmos no cromossomo.

Pisum sativum

Semente amarela / lisa




Semente amarela-lisa

VvRr

x


Semente verde / rugosa



Semente verde-rugosa


VvRr

Sementes Amarelas-lisas




198

Sementes Amarela-rugosa




201

Sementes Verdes-lisas



200

Sementes Verdes-rugosas



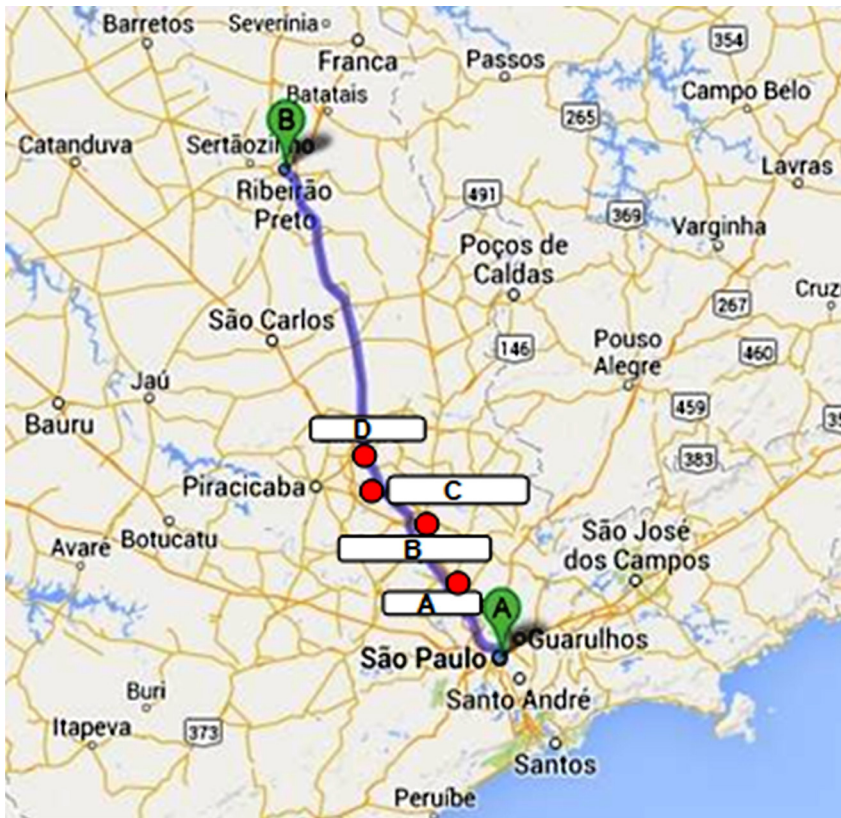
199

Com base nos resultados deste cruzamento responda:

- Trata-se de um caso de ligação gênica ou de segregação independente?
- Em caso de ligação gênica, calcule a porcentagem de permutação entre os genes e determine a posição (*cis* ou *trans*) dos mesmos no cromossomo.

AULA 4 – Atividade 6

1. A ilustração a seguir mostra a distância entre cidades, ao longo de uma estrada. Você seria capaz de descobrir quais são as cidades A, B, C e D no mapa?



Cidades	Distância
São Paulo – Ribeirão Preto	316 km
Ribeirão Preto – Limeira	171 km
Limeira – Americana	27 km
Ribeirão Preto – Americana	198 km
Jundiaí – Campinas	40 km
Campinas – Limeira	55 km
Jundiaí – Limeira	95 km
Jundiaí – São Paulo	60 km
Campinas – Americana	38 km
Jundiaí – Americana	78 km
São Paulo – Limeira	148 km

2. Um pesquisador em seu laboratório de genética está tentando determinar a localização de quatro genes (A, B, C e D). Em seus estudos, o pesquisador reuniu as seguintes informações: não há permutação entre os genes A e B; a frequência de recombinação entre os genes A e C é de 33%; a frequência de recombinação entre os genes A e D é de 28%; a frequência de recombinação entre os genes C e D é de 5%. Qual é a provável posição desses genes no cromossomo?

APÊNDICE C

Resolução das atividades propostas na sequência didática

1ª AULA: Atividade 1

azul: VV / Vv

vermelho: VV

geração P

ereto: PP / Pp

pendente: pp

geração F1

VVPP x vvpp



100 %

VvPv



Geração F2

9 V_ P_ (azul/ereto)

3 vvP_ (vermelho/ereto)

3 V_ pp (azul/pendente)

1 vvpp (vermelho/pendente)

2ª AULA: Atividade 4

1. Não necessariamente, pois, dependendo da distância entre esses genes no cromossomo, pode ocorrer permutação (*crossing-over*). Já nas células da epiderme desse indivíduo, pelo fato de não sofrerem meiose, apenas mitose, não há possibilidade de recombinação, sendo a organização AB/ab a única possível.

O fenômeno de *crossing-over* ocorre na prófase I da meiose.

2. Apenas gametas AB e ab

3.

AaBb x aabb

30% **com** permutação

AB

—

ab

gametas



15% Ab

15% aB

70% **sem** permutação

AB

—

ab

gametas



35% AB

35% ab

Assim teremos como resultado do retrocruzamento:

15% Aabb

15% aaBb

35% AaBb

35% aabb

3ª AULA: Atividade 5

Respostas das questões sobre os cruzamentos de flor púrpura/pólen alongado e flor vermelha/pólen redondo

Resultados

a) Trata-se de um caso de ligação gênica.

b) ~45 % P_ L_ → parentais

~ 5 % P_ ll → recombinantes

~ 5 % pp L_ → recombinantes

~ 45 % pp ll → parentais

A taxa de permutação é de 10%. Posição *Cis*.

Respostas das questões sobre os cruzamentos de fruto arredondado/folha normal e fruto oval/folha manchada

a) Ligação gênica

b) ~18,5% - aamm → recombinante

~ 31% - A_mm → parental

~32,5% - aaM_ → parental

~18% - A_M_ → recombinante

A taxa de permutação é de 36,5%. Posição *Trans*.

Respostas das questões sobre semente amarela/lisa e semente verde/rugosa

a) Trata-se de um caso de segregação independente.

b) Não há ligação gênica.

4ª AULA: Atividade 6

1.

A = Jundiá

B = Campinas

C = Americana

D = Limeira

**6ª AULA: Atividade 7**

b) A consequência das permutações é o aumento da variabilidade genética.