

Alelos e Cores: integrando transcrição, tradução e interações alélicas

Hanaisa de Plá e Sant'Anna^{1,2}, Ariadne Dias Caldas Lopes³, Ana Carolina Marinho Mota¹,
Rafaella Cardoso Ribeiro⁴, Adlane Vilas-Boas¹

¹ Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Genética Ecologia e Evolução, Belo Horizonte, MG


² The University of Melbourne, Melbourne Integrative Genomics, Melbourne, Australia

³ Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Botânica, Belo Horizonte, MG

⁴ Universidade Federal de Minas Gerais, Pós-Graduação em Genética UFMG, Belo Horizonte,

Autor para correspondência - adlane@ufmg.br

Palavras-chave: ensino de interações alélicas, ensino de interações alélicas,
integração de conceitos moleculares e mendelianos, genética e funcionalidade de proteínas



As interações alélicas do tipo dominância e recessividade são centrais no estudo da genética mendeliana, mas a compreensão da base molecular destes conceitos é um grande desafio para alunos dos ensinos médio e superior. Apresentamos aqui a aplicação de uma atividade didática capaz de integrar e aprofundar os conceitos de transcrição, tradução e interações alélicas, diferenciar as interações alélicas dos tipos dominância completa, dominância incompleta e codominância, e estimular a capacidade investigativa dos alunos. A atividade utiliza-se de misturas de tinta e outros materiais para simular cores de flores de distintas espécies e relacionar fenótipos, genótipos e os diferentes tipos de relações alélicas. Um grande número de turmas e diferentes públicos foram expostos à atividade, com relatos positivos sobre a praticidade, facilidade e o baixo custo em realizá-la bem alinhados com interligação dos conceitos de transcrição e tradução com conceitos de interação alélica.

A CONEXÃO ENTRE GENÉTICA MENDELIANA E GENÉTICA MOLECULAR

A base molecular dos conceitos de dominância e recessividade constitui um grande desafio para os alunos dos ensinos médio e superior, principalmente no contexto das interações alélicas. A abordagem desses temas é relevante para a compreensão de outros tópicos do ensino de genética como a tradução, transcrição, expressão gênica, dentre outros.

Esse tema foi abordado no artigo “Dominante ou Recessivo?” na Genética na Escola pela Profa. Regina Mingroni-Netto (https://docs.wixstatic.com/ugd/b703be_63f26b774c424b9f95961104c6b81162.pdf), que abordou a dificuldade na compreensão molecular dos conceitos de dominância e recessividade por graduandos em Ciências Biológicas. Como os estudantes citados por ela, também temos observado que estudantes de licenciatura em Biologia na nossa instituição têm concepções alternativas sobre a ação dos alelos no nível molecular. A grande parte dos estudantes acredita que os alelos dominantes “impedem” ou “inibem” os alelos recessivos de se manifestarem. Dessa forma, parte dos alunos é induzida à ideia de que alelos recessivos são obrigatoriamente inativos do ponto de vista da transcrição.

Em alguns livros didáticos do ensino básico consultados esta relação não é feita adequadamente, ou seja, os conceitos das relações alélicas são explicados no contexto das Leis de Mendel em termos do fenótipo, que é chamado de dominante quando se apresenta igual em homozigose ou heterozigose. Já os conceitos da transcrição e tradução são estudados em capítulos ou até mesmo em volumes diferentes das coleções. Raramente, o professor do ensino médio faz a conexão entre os dois temas, mesmo que a base da expressão gênica tenha sido estabelecida há mais de 70 anos. Acreditamos que a falta de conexão traga prejuízos para o entendimento de muitos outros conceitos da genética moderna como, por exemplo, a transgenia. E, é mais sério pensar que muitos professores não têm clara a ideia das relações alélicas

num contexto genético-bioquímico. Numa busca na Internet com o termo “dominância”, o resultado indica alguns sites de pesquisas escolares. Na maioria das vezes escritos por professores licenciados, muitos desses sites apresentam conceituação errada:

*“A dominância completa é aquela mais simples, em que um alelo **suprime a manifestação** de outro quando em heterozigose.”*
(Site <https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/biologia/dominancia-completa-incompleta-codominancia.htm>)

No caso desse site, a explicação que segue essa primeira frase não é de todo equivocada, mas não é esclarecedora, pois considera que o alelo *A* determina a produção de melanina e o alelo *a* define a sua não produção, sem entrar nos detalhes do porquê de isso ocorrer. As palavras suprimir, bloquear, inibir são também fonte de dúvidas, uma vez que elas, muitas vezes, se referem à supressão da expressão do fenótipo. Quando falamos em expressão gênica, os termos supressão, bloqueio e inibição têm a conotação de interferência na transcrição (ou tradução).

No entanto, outros sites populares de pesquisa escolar trazem a palavra “expressão” para explicar equivocadamente o conceito de dominância:

*“O tipo mais comum é a dominância total ou completa, onde um alelo completamente dominante **impede a expressão** do segundo alelo, que será completamente recessivo.”*
(Site <https://www.infoescola.com/genetica/dominancia/>)

Até para explicar o fenótipo devido à herança sexual (hemizigose), os termos que indicam interferência na expressão gênica aparecem em sites de consulta de professores e estudantes:

*“Um gene recessivo presente no cromossomo X de um homem irá se manifestar, uma vez que não há um alelo dominante que **impede a sua expressão**.”* (Site <https://www.sobiologia.com.br/conteudos/Genetica/herancaesexo4.php>)

Devido à necessidade de se resolver esse conflito conceitual sobre a base molecular dos conceitos de dominância e recessividade,

elaborou-se uma atividade denominada “Alelos e Cores: integrando transcrição, tradução e interações alélicas”. A atividade é de baixo custo, com materiais de fácil aquisição e preparo. Essa atividade foi elaborada no contexto de uma disciplina do curso de licenciatura em Ciências Biológicas em 2013 (originalmente com o nome “Prática das Cores”) por um grupo de estudantes que se sentiram desafiadas para conectar a genética mendeliana com a genética molecular.

Voltada para diferentes públicos-alvo e faixas etárias, a atividade que discutimos integra e aprofunda os conceitos de transcrição, tradução e interações alélicas, desde a base molecular da dominância e recessividade até o seu efeito fenotípico; diferencia as interações alélicas dos tipos dominância completa, dominância incompleta e codominância; estimula a capacidade investigativa dos alunos.

As experiências de alunos e professores com essa atividade em turmas do ensino médio, graduação e pós-graduação são compartilhadas no presente trabalho. Ainda, estão disponíveis em anexo e por meio de um link de acesso ao arquivo em PDF um questionário para ser utilizado antes da aplicação da dinâmica ([Questionário de Revisão](#), Anexo 1); o Roteiro do Professor ([Roteiro do Professor](#), Anexo 2); e o Roteiro do Aluno ([Roteiro do Aluno](#), Anexo 3). Também produzimos um vídeo que explica a preparação da atividade para o professor ([Vídeo Prática das cores](#)). As respostas do Questionário de Revisão estão disponíveis no link [Questionário de Revisão – Caderno de Respostas](#), bem como no anexo 4.

A DINÂMICA PARA DIFERENTES PÚBLICOS

Desde que foi desenvolvida em 2013, a atividade vem sendo aplicada para diferentes públicos. Até o momento, atuamos em oito turmas do 3º ano do ensino médio nos municípios de Belo Horizonte-MG e Contagem-MG; em 22 turmas de graduação em Ciências Biológicas/Licenciatura da UFMG, e em uma turma do Mestrado Profissional em Ensino de Biologia (ProfBio/UFMG). A atividade foi realizada na própria sala de aula e, em alguns casos, em laboratórios de

ciências, com duração média de 1 hora/aula. Para a execução da atividade, considerou-se o método de ensino socializado, utilizando-se grupos e baseando-se em princípios e processos de aprendizagem recorrentes à interação, ao diálogo e à parceria dos alunos para um maior intercâmbio de ideias e discussão.

Em suma, a atividade traz:

- Momento I:** formação de grupos para discussão de conceitos sobre transcrição e tradução, a partir da aplicação de um questionário de revisão ([Questionário de Revisão](#), Anexo 1), quando cada grupo deverá escolher das alternativas apresentadas a que lhes pareça mais correta.
- Momento II:** atividade utilizando-se de conhecimento sobre transcrição, tradução e código genético (ver figuras 1 e 2 com exemplos das fichas e rótulos utilizados) e de misturas de tinta e outros materiais para simular cores de flores de distintas espécies e relacionar fenótipos, genótipos e os diferentes tipos de relações alélicas (ver figuras 3A, 3B e 3C, nas quais são mostradas as misturas de cores para as diferentes interações alélicas). As fichas, os rótulos e a tabela de códons estão disponíveis em anexo e também por meio de um link de acesso aos arquivos em PDF ([Fichas](#), Anexo 5; [Rótulos](#), Anexo 6; [Tabela de Códons](#), Anexo 7). Esse é o momento mais importante da atividade, uma vez que os alunos têm a oportunidade de relacionar o genótipo molecular com o fenótipo (diferentes misturas de cores nas figuras 3A, 3B e 3C). Farão também simulação da interação alélica no nível molecular com entendimento do conceito de proteínas funcionais e não funcionais. A dinâmica é entremeada de perguntas que levam os alunos a desenvolver o raciocínio a respeito do fenômeno representado.
- Momento III:** exercícios com os quais os estudantes terão a oportunidade de consolidar os novos conhecimentos. Esse é um momento propício para que o(a) professor(a) possa avaliar a eficácia da atividade para o aprendizado dos conceitos de interação molecular em diferentes padrões de dominância.

1

Fragmento de DNA do cromossomo paterno

DNA fita molde T T A C T A C C C A C G T T A G T C C A T T

mRNA _____

Proteína _____

Figura 1. Exemplo de ficha para os estudantes registrarem dados, recapitulando os conhecimentos sobre transcrição e tradução. Na atividade, três diferentes conjuntos de fichas são utilizados para representar as interações alélicas: dominância completa, dominância incompleta e codominância. No anexo 5, estão todas as fichas a serem utilizadas na atividade.

Met-Met-Gly-Ala-Ile-Arg
Proteína funcional

Met-Met-Ser-Ala-Ile-Arg
Proteína não funcional

Figura 2. Exemplos de rótulos das garrafas com tintas com o genótipo molecular de um par de alelos. Na atividade, três diferentes pares de rótulos são utilizados para representar as interações alélicas: dominância completa, dominância incompleta e codominância. No anexo 6, estão todos os rótulos a serem utilizados na atividade.



Figura 3. Pares de seqüências de proteínas e mistura de cores que representam, respectivamente, (A) a dominância completa, (B) a dominância incompleta e (C) a codominância.

Geralmente, observamos durante a resolução do Questionário de Revisão e do questionário proposto no Roteiro do Aluno uma grande interação entre os integrantes de cada grupo, proporcionando aos alunos um momento de discussão enriquecedor. Com isso, os alunos dialogam com os demais inte-

grantes do grupo, a fim de obterem, consensualmente, uma resposta considerada como a correta para a resolução das questões. No entanto, não se deve desconsiderar a ideia de que, aliado ao método de ensino socializado, o(a) aplicador(a)/professor(a) atua como um mediador(a)/facilitador(a) do proces-

so de aprendizagem. Proporcionando um ambiente que facilita a aprendizagem dos alunos, o(a) professor(a) orienta os alunos durante a execução da atividade proposta, esclarecendo as dúvidas e também possibilitando a cada aluno expressar sua capacidade de autoaprendizagem.

RELATOS SOBRE A ATIVIDADE E CONTRIBUIÇÃO DOS PROFESSORES PARA MODIFICAÇÕES

A prática docente está em constante desenvolvimento e isso aconteceu com essa atividade, principalmente, pelo número de turmas e diversidade de públicos que foram expostos a ela. Além da nossa experiência com a aplicação da dinâmica, recebemos muitos relatos e críticas de professores, estudantes de licenciatura em Biologia e mestrands do programa ProfBio. Assim, acreditamos que os roteiros que apresentamos aqui trazem modificações de conteúdo, formatação e materiais e métodos que aumentam o mérito da atividade que foi proposta há seis anos e teve mais de 4500 visualizações no portal *Pontociência*. Seguem abaixo alguns relatos:

“Um dos aspectos interessantes relacionados à atividade prática diz respeito à possibilidade desta não depender exclusivamente de um laboratório de Ciências/Biologia para que seja executada. Nesse caso, a própria sala de aula configura um ambiente que permite uma aplicabilidade satisfatória da referida atividade prática.”

“A facilidade para obtenção e confecção de todos os materiais utilizados durante a prática e o seu baixo custo financeiro tornam esta atividade uma excelente ferramenta para ser utilizada tanto em escolas particulares quanto em escolas públicas. A atividade poderá ser aplicada independentemente do tamanho da turma e do espaço físico das salas de aula, além de não depender da utilização de laboratórios de ciências ou similares.”

“A aplicação da atividade proposta requer que o professor de Biologia já tenha trabalhado com os alunos determinados conteúdos de Genética, dentre eles, os fenômenos

de transcrição e tradução e os conceitos de fenótipo, genótipo, dominância, recessividade, dominância incompleta e codominância, de forma que os alunos já apresentem algum domínio sobre os conteúdos correlacionados. Por isso, é indicada sua aplicação em turmas de 3º ano do ensino médio, como forma do aluno lembrar e integrar o conhecimento de Genética Básica abordado durante o seu percurso escolar.”

“Durante a realização da atividade, os alunos mostraram-se interessados e curiosos, participando ativamente de todas as etapas planejadas, e com total liberdade para questionar e esclarecer as dúvidas relacionadas aos conteúdos de Genética abordados na atividade prática.”

“Foi possível perceber a dificuldade apresentada por alguns alunos em relação à transcrição das bases nitrogenadas e à tradução da molécula de DNA, evidenciando a real necessidade de uma abordagem mais criativa e eficiente destes conteúdos para alunos da educação básica, e que a prática conseguiu explicar e fixar esses conceitos.”

PONTOS PARA MAIOR ATENÇÃO DO(A) PROFESSOR(A)

É importante que o(a) professor(a) atente para a questão histórica das concepções acerca da herança, isto é, a ideia equivocada de que o fenótipo era resultado de “misturas” de características dos genitores. Assim, o(a) professor(a) deve deixar explícito para os estudantes que a atividade trata de uma abordagem molecular, ou seja, a combinação dos produtos gênicos não está relacionada à “mistura” de características.

Na etapa de transcrição (etapa 1), a construção da fita de mRNA com timina (T) ao invés de uracila (U) foi recorrente em diversas turmas. Na etapa seguinte (tradução), alguns estudantes não consideraram o códon de iniciação e/ou o códon de terminação para iniciar e/ou finalizar a leitura da fita de mRNA, o que resultou em uma divergência ao checar a correspondência entre as cadeias polipeptídicas obtidas nas fichas e os rótulos das garrafas da etapa da interação alélica. O(a)

professor(a) pode facilitar a escrita da fita já indicando as trincas que devem ser usadas. No entanto, consideramos que esse seria um ponto de caráter investigativo para o grupo e que pode auxiliar no aprendizado. Nossa experiência foi que, após identificar a incoerência, o próprio grupo revisava as etapas 1 e 2, a fim de obter a sequência de aminoácidos corrigida. Para facilitar a compreensão desses processos, sugerimos que durante a dinâmica o(a) professor(a) exponha no quadro um esquema dos passos básicos da transcrição e tradução, como apresentado no Roteiro do Professor ([Roteiro do Professor](#), Anexo 2).

Outro ponto para o qual o(a) professor(a) deve estar atento é que o fenótipo que sugerimos é a cor de flor em plantas, mas que poderia ser qualquer fenótipo em outro tipo de organismo. Como um exemplo muito utilizado nos livros didáticos é o da flor maravilha, consideramos que seja adequado o seu uso. No entanto, como são sequências diferentes, vale a pena o(a) professor(a) instruir que são espécies diferentes, por isso o modo de herança é distinto, assim como o são os loci utilizados.

Algumas questões do questionário objetivaram desmistificar a ideia de que o alelo recessivo não é transcrito e/ou traduzido. São perguntas que podem ser desafiadoras pois não são comumente utilizadas nos livros. A partir do fenótipo individual de cada alelo paterno ou materno (cor dos recipientes), os alunos devem responder se os dois alelos seriam transcritos e traduzidos. O progresso da atividade tende a viabilizar o raciocínio lógico do aluno para uma resposta afirmativa, uma vez que todos os grupos foram capazes de realizar a transcrição das sequências de DNA, bem como a tradução das fitas de mRNA.

Uma outra questão que desafiou os estudantes foi o uso dos termos proteína funcional ou não funcional. Os termos “proteína funcional” e “proteína não funcional” não foram novidade apenas para os alunos do mestrado ProfBio. Por isso, nas questões seguintes, a explicação desses dois conceitos estava implícita, a fim de esclarecer, posteriormente, as diferenças entre as três interações alélicas consideradas e, principalmente, as interações do tipo dominância completa e dominância incompleta. Abaixo, segue um exemplo de questão que leva o estudante a

entender conceitos recém apresentados na busca de sua resposta:

Questão 6.

Um fenótipo é o resultado de interações de produtos oriundos de informação dos cromossomos de origem materna e paterna. Considerando a mistura das duas preparações, você observa que:

- a) a proteína funcional compensa a ausência de cor – promovida pela proteína não funcional – e o fenótipo do indivíduo é determinado por apenas um dos alelos do locus.
- b) a proteína funcional não compensa a ausência de cor – promovida pela proteína não funcional – e o fenótipo do indivíduo é intermediário.
- c) as duas proteínas são funcionais e o indivíduo apresenta, simultaneamente, ambos os fenótipos determinados pelos dois alelos do locus.

As demais perguntas estão no Roteiro do Aluno ([Roteiro do Aluno](#), Anexo 3), e as respostas no anexo 8, também disponíveis em arquivo PDF por meio do link [Roteiro do Aluno - Caderno de Respostas](#).

Embora todos os grupos tenham relacionado corretamente a resposta à interação alélica, os conceitos, às vezes, não foram compreendidos em sua totalidade nessa etapa. Retomando a ideia de outros mitos com relação ao tema, foi proposta a questão 8, que tenta relacionar os novos conceitos de funcionalidade de proteínas com a relação de dominância e recessividade entre os alelos mostrados pelas sequências de DNA das fichas entregues inicialmente. Observou-se certa dificuldade na compreensão dos conceitos de dominância e recessividade, exclusivamente em relação à interação alélica do tipo dominância incompleta. Com isso, sugere-se que esses conceitos sejam explicados antes da atividade para que o aluno desenvolva o raciocínio lógico para responder corretamente à questão.

Temos a expectativa de que nossa experiência possa servir de incentivo para que outros professores abordem esse tema de forma inovadora em suas classes de aula, além de apresentarem de forma correta um conteúdo base, de extrema relevância para a compreensão da Genética.



ANEXO 1 – QUESTIONÁRIO DE REVISÃO

<https://drive.google.com/drive/folders/1UV3MIiVBctib9ODbjBEPbaf1J3h1xd4N?usp=sharing>

Nome: _____

Prezado estudante, antes de iniciarmos uma aula prática de Genética, gostaríamos que você respondesse às questões abaixo.

Questão 1.

Dominância e recessividade relacionam-se com:

- a) a quantidade de pessoas que expressam o fenótipo.
- b) a capacidade do alelo dominante de impedir ou inibir os alelos recessivos de serem transcritos ou traduzidos.
- c) a quantidade de proteínas ou a capacidade da proteína de ser ou não funcional.

Questão 2.

São albinos apenas os indivíduos com o _____ aa, sendo que o _____ “A” apresenta dominância completa sobre o “a”.

Casais _____ apresentam pigmentação da pele normal e podem ter filhos albinos.

Preencha as lacunas I, II e III com uma palavra em cada, selecionadas entre as opções abaixo:

Genótipo
Fenótipo

Heterozigotos
Homozigotos

Gene
Alelo

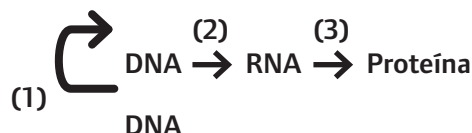
(I) _____

(II) _____

(III) _____

Questão 3.

Os processos biológicos indicados como (1), (2), (3), no esquema que segue, correspondem, respectivamente, à:



- a) transcrição, replicação e tradução
- b) replicação, tradução e transcrição
- c) transcrição, tradução e replicação
- d) tradução, replicação e transcrição
- e) replicação, transcrição e tradução

Questão 4.

As bases nitrogenadas de uma molécula de RNA são complementares à sequência determinada pelo DNA molde. Com base nisso, marque a(s) sequência(s) de bases de RNA formado(s) a partir do seguinte molde de DNA.

→ TCGTA

- a) → UGCUT
- b) → AGCAU
- c) → UCGUA
- d) → CUACG
- e) Sem a tabela do código genético não é possível determinar.

Questão 5.

Na planta maravilha (*Mirabilis jalapa*), existem três tipos de coloração das pétalas das flores:

(i) branca, (ii) vermelha e (iii) rosa.

Quando plantas de flores brancas (A^1A^1) são cruzadas com plantas de flores vermelhas (A^2A^2), 100% das plantas produzidas têm pétala rosa. Do cruzamento dessas plantas rosas entre si obtêm-se, na descendência, plantas com flores vermelhas, rosadas e brancas, na proporção de 1:2:1, respectivamente.

De acordo com o enunciado, esquematize os cruzamentos e suas respectivas descendências.

Pode-se concluir que, no caso da flor maravilha, trata-se de uma:

- a) Dominância completa
- b) Dominância incompleta
- c) Codominância

ANEXO 2 – ROTEIRO DO PROFESSOR

<https://drive.google.com/drive/folders/1UV3MIiVBctib9ODbjBEPbaf1J3hLxd4N?usp=sharing>

Alelos e cores: integrando transcrição, tradução e interações alélicas

ROTEIRO DO PROFESSOR

Duração da atividade: 50 min/aula

Conteúdo abordado: Genótipo; Fenótipo; Alelos dominantes; Alelos recessivos.

Objetivos

- Diferenciar as interações alélicas do tipo dominância completa, dominância incompleta e codominância;
- Correlacionar os experimentos sobre dominância e recessividade realizados em aula prática aos conteúdos trabalhados em aula teórica;
- Estimular a capacidade investigativa e produtiva dos alunos.

Conhecimentos prévios

Os fenômenos da transcrição e tradução e alguns conceitos fundamentais em Genética, como fenótipo, genótipo, dominância, recessividade, dominância completa, dominância incompleta, codominância.

Materiais necessários

- 1 pote de 250 ml de tinta guache (marca Acrilex) das cores branca e vermelha;
- 500 ml de água;
- 250 ml de óleo vegetal ou óleo mineral;
- 2 copos de vidro (250 ml cada);
- 3 copos de vidro ou vasilhas plásticas transparentes ou tubos de ensaio;
- 2 colheres de sopa (15 ml cada);
- 3 potes plásticos transparentes com tampa ou minigarrafas de refrigerante (250 ml cada);
- Funil;
- 6 fichas com sequências diferentes de bases nitrogenadas da molécula de DNA;
- 6 rótulos com sequências diferentes de aminoácidos;
- 3 tabelas com o código genético;
- Folhas A4;
- Lápis e borracha;
- Cola branca;
- Tesoura.

Procedimentos

Atenção! É indispensável que todo o material necessário para a realização da atividade seja preparado previamente pelo(a) professor(a), que deve providenciar seis preparações diferentes, cada uma correspondendo a um alelo diferente. Como algumas cores são semelhantes, é importante escrever antes os nomes dos alelos em cada copo. Um vídeo que explica a preparação da atividade para o(a) professor(a) pode ser acessado neste *link* <<https://1drv.ms/v/s!Aieke8FrKDLogbkRLHG-QsanQLfQGw?e=WqjYbc>>. Teste as misturas e modifique as proporções de cada tinta se for necessário. Algumas marcas podem ter concentrações diferentes dos pigmentos.

Relação alélica dominância completa (sequências 1 e 2)

- 1) Alelo **A** - Em um copo, adicione 2 colheres (sopa) de tinta guache vermelha e complete com 200 ml de água. Misture bem.
- 2) Alelo **a** - Em outro copo, adicione ½ colher (café) de tinta guache branca e complete com 200 ml de água. Misture. (alternativamente, use 10 ml da solução **A2** – abaixo – e complete o volume)

Relação alélica dominância incompleta (sequências 3 e 4)

- 3) Alelo **A1** - Em outro copo, adicione ½ colher (sopa) de tinta guache vermelha e complete com 200 ml de água. Misture bem.
- 4) Alelo **A2** - Em um copo, adicione 2 colheres (sopa) de tinta guache branca e complete com 200 ml de água. Misture bem.

Relação alélica codominância (sequências 5 e 6)

- 5) Alelo B1 - Em um copo, adicione 2 colheres (sopa) de tinta guache vermelha e complete com 200 ml de água. Misture bem.
- 6) Alelo B2 - Em outro copo, coloque 250 ml de óleo vegetal ou óleo mineral. Pode usar menos para diminuir custos.

Recorte os rótulos e cole nos potes ou minigarrafas, e despeje o conteúdo de cada solução nos recipientes correspondentes (Figura 1).

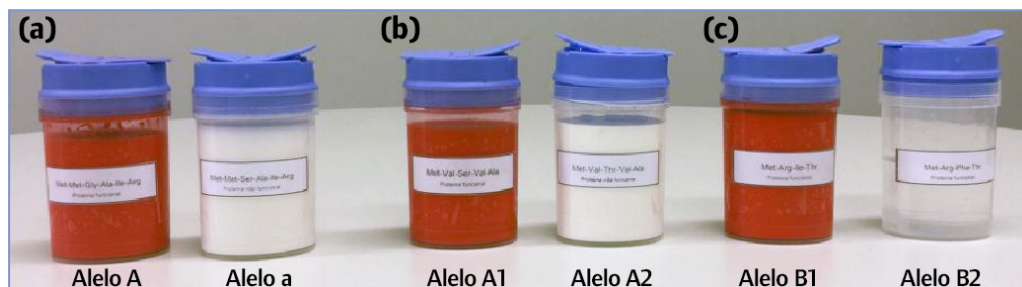


Figura 1. Preparações rotuladas: (a) dominância completa, (b) dominância incompleta e (c) codominância.

Cada rótulo contém uma sequência de aminoácidos específica que representa o produto da transcrição e tradução de cada uma das seis sequências de DNA consideradas (Figura 2). Cada cadeia polipeptídica corresponde a um alelo, excepcionalmente indicado em azul na figura para melhor entendimento da atividade. Nos rótulos, há a indicação da proteína ser ou não funcional.

Met-Met-Gly-Ala-Ile-Arg Proteína funcional <i>Alelo A</i>	Met-Val-Ser-Val-Ala Proteína funcional <i>Alelo A1</i>	Met-Arg-Ile-Thr Proteína funcional <i>Alelo B1</i>
Met-Met-Ser-Ala-Ile-Arg Proteína não funcional <i>Alelo a</i>	Met-Val-Thr-Val-Ala Proteína não funcional <i>Alelo A2</i>	Met-Arg-Phe-Thr Proteína funcional <i>Alelo B2</i>

Figura 2. Rótulos e sequências de aminoácidos correspondentes.

Cada grupo recebe um par de fichas diferente (Figura 3), representando três espécies de plantas com diferentes modos de herança para coloração de pétalas. Cada ficha contém uma sequência específica de DNA proveniente do cromossomo paterno ou materno (alelos distintos), e a interação das proteínas resultantes da transcrição e tradução de um par de sequências simboliza uma interação alélica até então desconhecida pelo grupo.

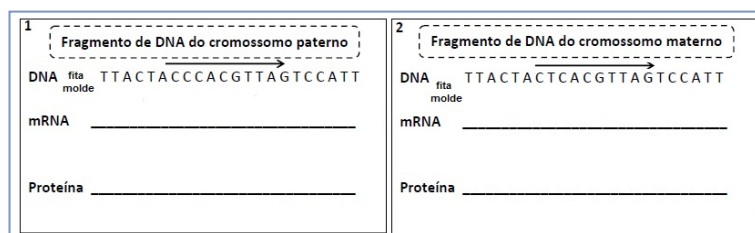


Figura 3. Modelo de par de fichas com diferentes sequências de DNA, correspondente a uma determinada interação alélica.

A interação alélica representa uma característica que se manifestará em um indivíduo heterozigoto (Figura 4). Nas fichas, há indicação do sentido de transcrição da sequência de DNA.

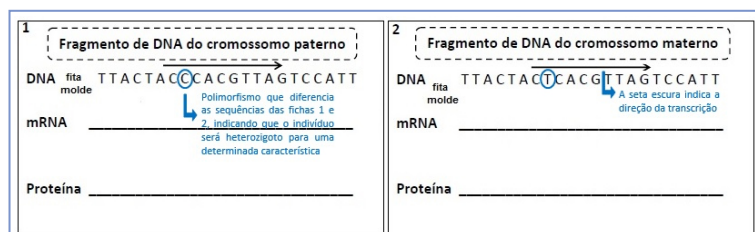


Figura 4. Modelo de par de fichas com diferentes sequências de DNA, correspondente a uma determinada interação alélica. Os contornos em azul indicam a diferença de bases nitrogenadas entre as duas sequências de DNA.

O(a) professor(a) também deve preocupar-se com a:

- orientação aos alunos para que se reúnam em três grupos (ideal de 5 alunos); se forem mais alunos fichas adicionais poderão ser distribuídas para os outros componentes.
- organização e divisão dos materiais necessários nas bancadas (no caso do laboratório) ou nas mesas (no caso da sala de aula);
- distribuição, para cada aluno, do Roteiro do Aluno;
- leitura e explicação do Roteiro do Aluno;
- orientação sobre cada passo a ser executado durante a atividade prática;
- ajuda na execução da atividade prática, caso solicitado pelo aluno.

Instruções aos alunos

Etapa 1 – Transcrição

Pedir que completem, no espaço indicado nas fichas, o mRNA transcrito da sequência de bases da molécula de DNA (Figura 5). Notar que a fita de DNA mostrada é a molde e não a codificadora.

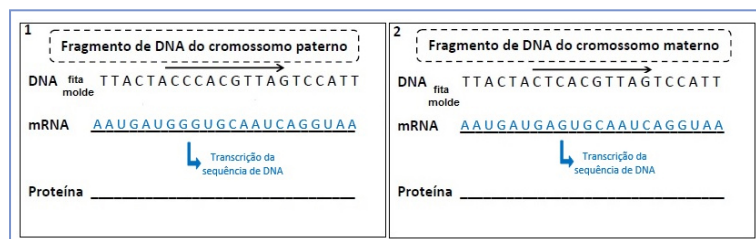


Figura 5.

Demonstração das sequências de mRNAs transcritas das sequências de DNA do modelo de par de fichas 1 e 2.

Etapa 2 – Tradução

Pedir que completem, no espaço indicado nas fichas, a cadeia polipeptídica traduzida da sequência, com o auxílio da tabela de códons (Figura 6).

Cada par de fichas apresenta o códon de iniciação AUG e um códon de terminação (UAA ou UAG), que devem ser identificados pelo grupo para a leitura da fita de mRNA. Os códons de iniciação e de terminação são, excepcionalmente, sublinhados de vermelho na figura para melhor entendimento da atividade.

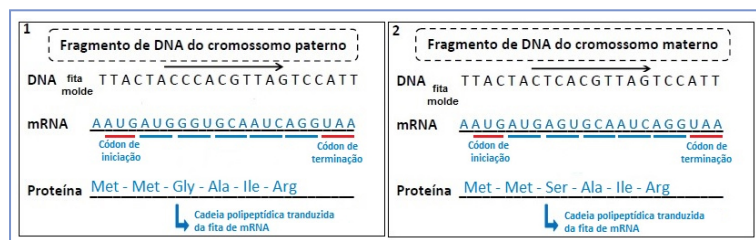
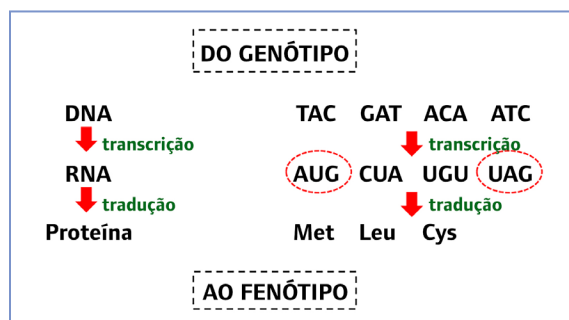


Figura 6.

Demonstração das cadeias polipeptídicas traduzidas das fitas de mRNA do modelo de par de fichas 1 e 2.

Uma sugestão é que o(a) professor(a) exponha no quadro um esquema como o apresentado abaixo:



O esquema permite que os alunos visualizem as etapas da transcrição e tradução de uma forma clara e objetiva. Sinaliza ainda a presença dos códons de iniciação e de terminação, informação essencial para a correta leitura da fita do mRNA e conseqüente construção da cadeia polipeptídica correspondente.

Etapa 3 – Interação alélica

Pedir que localizem, na bancada (ou na mesa) onde estão as seis preparações, pelo par cujos rótulos correspondem às sequências de aminoácidos das proteínas encontradas pelo grupo. Após encontrá-lo, devem levá-lo até a bancada (ou mesa) do grupo.

Abrir cada pote/minigarrafa e despejar a mesma quantidade de cada conteúdo em um copo/vasilha plástica transparente/tubo de ensaio. Se necessário, misturar as duas preparações. Os tubos de ensaio são uma ideia para economizar o material para uso em outras turmas.

Pedir que observem o resultado e respondam o questionário. É importante que observem os resultados obtidos pelos outros grupos.

A Figura 7 apresenta o resultado esperado das misturas das preparações.

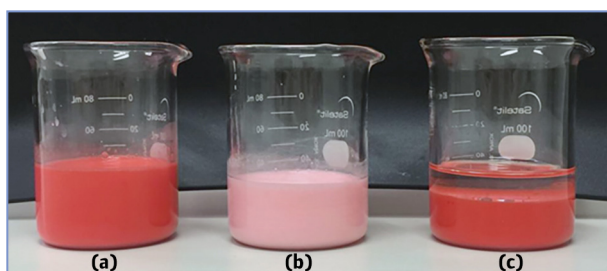


Figura 7.

Demonstração das misturas finalizadas: (a) dominância completa, (b) dominância incompleta e (c) codominância.

Atividades propostas

O questionário proposto no Roteiro do Aluno visa a ajudar o aluno a estabelecer um raciocínio prático, direcionado para conclusões dedutivas, apresentando perguntas referentes a cada um dos passos desenvolvidos pelo aluno.

Ao final da atividade, o professor poderá sugerir aos alunos que pesquisem exemplos de herança que determinam diferentes fenótipos em outros seres. Os alunos poderão descobrir quais tipos de proteínas estão envolvidos nas determinações que pesquisarem. Por exemplo, podem pesquisar as bases moleculares das características que Mendel utilizou nos seus estudos.

Avaliação

Cada aluno será avaliado por meio de um questionário que consta no Roteiro do Aluno. Este questionário aborda algumas perguntas relacionadas às observações feitas pelos alunos a respeito do experimento realizado. Ao final da aula, o questionário respondido será recolhido pelo(a) professor(a).

Cada aluno também será avaliado pela participação e interesse durante a realização da atividade, considerando o seu comportamento, habilidade para trabalhar em grupo, interesse, cuidado na montagem do experimento e envolvimento nas discussões propostas.

ANEXO 3 – ROTEIRO DO ALUNO

<https://drive.google.com/drive/folders/1UV3MIiVBCTib9ODbjBEPbaf1J3h1xd4N?usp=sharing>

Alelos e cores: integrando transcrição, tradução e interações alélicas

ROTEIRO DO ALUNO

Cabeçalho

Escola: _____ Turma: _____

Alunos(as): _____

Conteúdo abordado: Genótipo; Fenótipo; Alelos dominantes; Alelos recessivos.

Preste atenção às instruções do(a) professor(a) e siga o roteiro.

Objetivos

- Diferenciar as interações alélicas do tipo dominância completa, dominância incompleta e codominância;
- Correlacionar os experimentos sobre dominância e recessividade realizados durante a aula prática aos conteúdos trabalhados em aula teórica.

Materiais necessários

- 2 fichas impressas, cada uma representando uma sequência diferente de bases nitrogenadas da molécula de DNA presentes em cromossomos paterno e materno;
- 1 tabela do código genético;
- Lápis;
- Borracha;
- 2 líquidos preparados pelo professor, armazenados em recipientes com rotulagens específicas;
- 1 copo de vidro ou vasilha plástica transparente ou tubos de ensaio;
- 1 colher (sopa).

Procedimentos

Questão 1. Você recebeu 2 fichas que representam o material genético de uma planta, sendo cada sequência de DNA proveniente de um parental (materno e paterno). Cada uma das sequências corresponde a um alelo diferente presente no mesmo locus que, por fim, codificará uma cor. A interação das proteínas resultantes da transcrição e tradução desse par de sequências simboliza um tipo de interação alélica. Observe a sequência de DNA de cada um dos cromossomos representados. O que se pode verificar quanto às duas sequências?

- a. São iguais b. São diferentes

Questão 2. De acordo com as sequências observadas, o que se pode dizer sobre a condição zigótica do indivíduo resultante desse cruzamento?

- a. É homocigoto b. É heterocigoto

Questão 3. Os dois alelos serão transcritos?

- a. Sim b. Não

Questão 4. Os dois alelos serão traduzidos?

- a. Sim b. Não

Em uma célula diploide, as sequências de DNA dos dois cromossomos (materno e paterno) são normalmente transcritas e traduzidas.

- Complete, no espaço indicado em cada uma das fichas, o mRNA transcrito da sequência de DNA; com o auxílio da tabela de código genético, complete, no espaço indicado em cada uma das fichas, a cadeia polipeptídica traduzida da fita de mRNA.
- Procure, na bancada (ou mesa), onde estão os materiais, os dois recipientes com líquidos cujos rótulos correspondem às sequências de aminoácidos encontradas pelo seu grupo. Após encontrá-los, leve-os para a bancada (ou mesa) do seu grupo. Diferencie os recipientes, numerando-os, por exemplo. Observe as cores dos líquidos presentes em seu interior e as informações contidas nos rótulos.

Questão 5. Faça a correspondência e responda:

Proteína produzida pela sequência materna:

Cor: _____ Funcionalidade: _____

Proteína produzida pela sequência paterna:

Cor: _____ Funcionalidade: _____

- Em seguida, abra cada recipiente e despeje a mesma quantidade dos líquidos em um copo de vidro ou vasilha plástica transparente. Com o auxílio de uma colher, misture as duas preparações.
- Observe o resultado e responda às questões abaixo.

Questão 6. Um fenótipo é o resultado de interações de produtos oriundos de informação dos cromossomos de origem materna e paterna. Considerando a mistura das duas preparações, você observa que:

- a)** a proteína funcional compensa a ausência de cor – promovida pela proteína não funcional – e o fenótipo do indivíduo é determinado por apenas um dos alelos do locus.
- b)** a proteína funcional não compensa a ausência de cor – promovida pela proteína não funcional – e o fenótipo do indivíduo é intermediário.
- c)** as duas proteínas são funcionais e o indivíduo apresenta, simultaneamente, ambos os fenótipos determinados pelos dois alelos do locus.

Questão 7. O resultado observado (cor da planta) indica que a interação dos alelos é do tipo:

- a.** Dominância completa **b.** Dominância incompleta **c.** Codominância

Questão 8. Há relação de dominância e recessividade entre os alelos do gene responsável por essa característica?

- a.** Sim **b.** Não

Questão 9. Compare o resultado do seu grupo com o encontrado pelos outros grupos. Você pode concluir que o conceito de dominância e recessividade se relaciona com:

- a)** a capacidade do alelo dominante de “impedir” ou “inibir” os alelos recessivos de serem transcritos ou traduzidos.
- b)** a quantidade de pessoas que expressam o fenótipo.
- c)** a quantidade de proteínas ou a capacidade da proteína de ser ou não funcional.

ANEXO 4 – QUESTIONÁRIO DE REVISÃO - CADERNO DE RESPOSTAS

<https://drive.google.com/drive/folders/1UV3MIiVBctib90DbjBEPbaf1J3h1xd4N?usp=sharing>

Alelos e cores: integrando transcrição, tradução e interações alélicas

QUESTIONÁRIO DE REVISÃO

Caderno de respostas

Questão 1.

RESPOSTA: **c.** a quantidade de proteínas ou a capacidade da proteína de ser ou não funcional

Questão 2.

RESPOSTA: (I) Genótipo
(II) Alelo
(III) Heterozigotos

Questão 3.

RESPOSTA: **e.** replicação, transcrição e tradução

Questão 4.

RESPOSTA: **b.** → AGCAU

Questão 5.

RESPOSTAS: **b.** Dominância incompleta

A¹ = flor vermelha

A² = flor branca

? = flor rosada

A¹A¹ x A²A²
A¹A²

100% flor rosada

A¹A² x A¹A²
A¹A¹ A¹A² A¹A² A²A²


25% flor vermelha

50% flor rosada

25% flor branca

ANEXO 5 – FICHAS

<https://drive.google.com/drive/folders/1UV3MIiVBctib9ODbjBEPbaf1J3h1xd4N?usp=sharing>

 Recorte aqui

1 Fragmento de DNA do cromossomo paterno

→

DNA fita molde TTACTACCCACGTTAGTCCATT

mRNA _____

Proteína _____

2 Fragmento de DNA do cromossomo materno

→

DNA fita molde TTACTACTCACGTTAGTCCATT

mRNA _____

Proteína _____

3 Fragmento de DNA do cromossomo materno

→

DNA fita molde ATACCACAGACACCGCATCTAG

mRNA _____

Proteína _____

FICHAS

 Recorte aqui

4 **Fragmento de DNA do cromossomo paterno**

DNA ^{fita} molde **ATACCACTGACACCGCATCTAG**

mRNA _____

Proteína _____

5 **Fragmento de DNA do cromossomo materno**

DNA ^{fita} molde **ATTACGCGTAGTGCACTATT**

mRNA _____

Proteína _____

6 **Fragmento de DNA do cromossomo paterno**

DNA ^{fita} molde **ATTACGCGAAGTGCACTATT**

mRNA _____

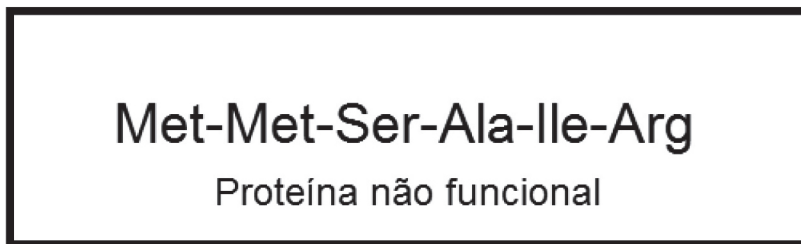
Proteína _____

ANEXO 6 – RÓTULOS DAS GARRAFAS

<https://drive.google.com/drive/folders/1UV3MIiVBctib9ODbjBEPbaf1J3h1xd4N?usp=sharing>



Rótulo correspondente à sequência 1 - Vermelho



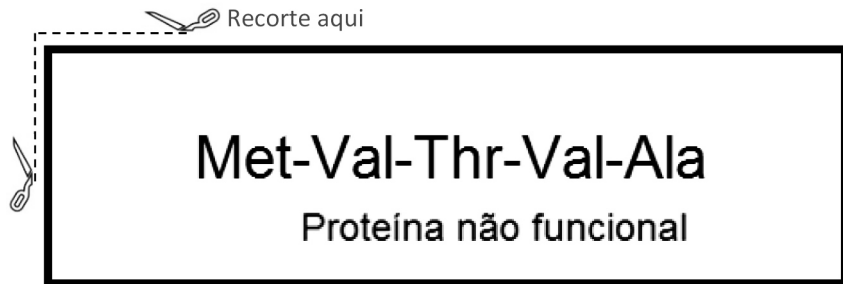
Rótulo correspondente à sequência 2 - Branco



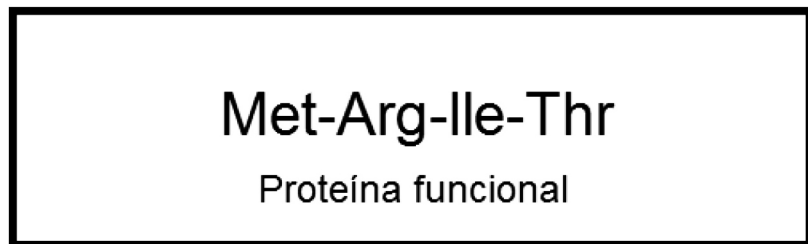
Rótulo correspondente à sequência 3 - Vermelho

RÓTULOS DAS GARRAFAS

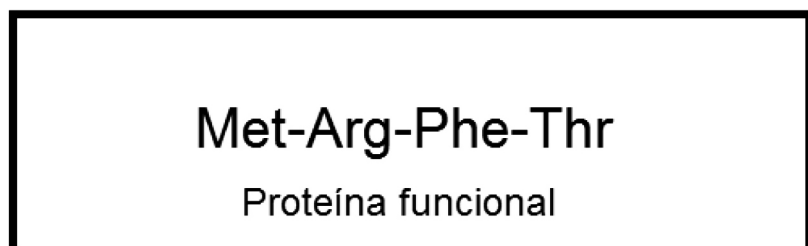
**Rótulo
correspondente
à sequência 4 -
Branco**



**Rótulo
correspondente
à sequência 5 -
Vermelho**



**Rótulo
correspondente
à sequência 6 -
Transparente**



ANEXO 7 – TABELA DE CÓDONS

<https://drive.google.com/drive/folders/1UV3MIiVBctib90DbjBEPbaf1J3hLxd4N?usp=sharing>

		Segunda base								
		U		C		A		G		
		código	aminoácido	código	aminoácido	código	aminoácido	código	aminoácido	
Primeira base	U	UUU	phe	UCU	ser	UAU	tyr	UGU	cys	U
		UUC		UCC		UAC		UGC		C
		UUA	leu	UCA		UAA	STOP	UGA	STOP	A
		UUG		UCG		UAG	STOP	UGG	trp	G
	C	CUU	leu	CCU	pro	CAU	his	CGU	arg	U
		CUC		CCC		CAC		CGC		C
		CUA		CCA		CAA	gln	CGA		A
		CUG		CCG		CAG		CGG		G
	A	AUU	ile	ACU	thr	AAU	asn	AGU	ser	U
		AUC		ACC		AAC		AGC		C
		AUA		ACA		AAA	lys	AGA	arg	A
		AUG	ACG	AAG		AGG		G		
	G	GUU	val	GCU	ala	GAU	asp	GGU	gly	U
		GUC		GCC		GAC		GGC		C
		GUA		GCA		GAA	glu	GGA		A
		GUG		GCG		GAG		GGG		G

Legenda

ala = alanina
 arg = arginina
 asn = asparagina
 asp = ácido aspártico

cys = cisteína
 glu = ácido glutâmico
 gln = glutamina
 gly = glicina

his = histidina
 ile = isoleucina
 leu = leucina
 lys = lisina

met = metionina
 phe = fenilalanina
 pro = prolina
 ser = serina

thr = treonina
 try = triptofano
 tyr = tirosina
 val = valina

ANEXO 8 – ALELOS E CORES

<https://drive.google.com/drive/folders/1UV3MIiVBCTib9ODbjBEPbaf1J3hLxd4N?usp=sharing>

Alelos e cores: integrando transcrição, tradução e interações alélicas

ROTEIRO DO ALUNO

Caderno de respostas

Questão 1.

RESPOSTA: b. São diferentes

Questão 2.

RESPOSTA: b. É heterozigoto

Questão 3.

RESPOSTA: a. Sim

Questão 4.

RESPOSTA: a. Sim

Questão 5.

RESPOSTAS: cor vermelha, funcional (*para Ficha 1, cromossomo paterno*)
cor branca, não funcional (*para Ficha 2, cromossomo materno*)
cor vermelha, funcional (*para Ficha 3, cromossomo materno*)
cor branca, não funcional (*para Ficha 4, cromossomo paterno*)
cor vermelha, funcional (*para Ficha 5, cromossomo materno*)
cor óleo, funcional (*para Ficha 6, cromossomo paterno*)

Questão 6.

RESPOSTAS:

- a) a proteína funcional compensa a ausência de cor – promovida pela proteína não funcional – e o fenótipo do indivíduo é determinado por apenas um dos alelos do locus. (*para dominância completa*)
- b) a proteína funcional não compensa a ausência de cor – promovida pela proteína não funcional – e o fenótipo do indivíduo é intermediário. (*para dominância incompleta*)
- c) as duas proteínas são funcionais e o indivíduo apresenta, simultaneamente, ambos os fenótipos determinados pelos dois alelos do locus. (*para codominância*)

Questão 7.

RESPOSTAS:

- a. Dominância completa (*para cor do indivíduo vermelha*)
- b. Dominância incompleta (*para cor do indivíduo rosada*)
- c. Codominância (*para cor do indivíduo vermelha + óleo*)

Questão 8.

RESPOSTAS:

- a. Sim (*para codominância*)
- b. Não (*para dominância completa ou dominância incompleta*)

Questão 9.

RESPOSTA: c) a quantidade de proteínas ou a capacidade da proteína de ser ou não funcional