

# Coloração da pelagem canina:

## integrando conceitos básicos de genética clássica

**Eriza Cristina Hahn<sup>1</sup>, Marion Schiengold<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Mestranda em Genética e Biologia Molecular na Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Hospital de Clínicas de Porto Alegre

<sup>2</sup> Departamento de Genética da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Av. Bento Gonçalves, 9500 - Agronomia – RS, 91509-900; e-mail: marion.schiengold@ufrgs.br

Autor para correspondência: erizacristina@gmail.com

**Palavras-chave:** coloração canina, interações alélicas, interações não alélicas

A grande diversidade de raças caninas que conhecemos é o resultado de uma intensa seleção artificial realizada pelo homem. Muitas são as possibilidades de tamanho, forma, comportamento e cor da pelagem dos “melhores amigos do homem”. O foco deste artigo é a genética da coloração da pelagem canina. São apresentados alguns dos fenótipos gerados pela expressão e interação de onze genes diferentes, cada um com seus alelos. Tais interações determinam o tipo, a quantidade e a localização dos pigmentos depositados ao longo do corpo do animal. A coloração da pelagem canina é utilizada para ilustrar alguns conceitos de genética clássica, como interações alélicas e gênicas, bem como para propor atividades que possibilitem a abordagem do tema de uma forma alternativa, divertida e próxima da realidade dos alunos.

Os cães domésticos (*Canis lupus familiaris*) estão divididos em mais de 350 raças que partilham um ancestral em comum, o lobo cinza (*Canis lupus*). A diversidade de raças caninas surgiu devido a uma intensa seleção artificial realizada pelo homem e pode ser facilmente observada pela enorme variedade de características comportamentais, tamanhos, formas e colorações de pelos dos “melhores amigos do homem”.

A síntese e a deposição de pigmentos ocorrem nos melanócitos, células localizadas nos folículos pilosos da pele dos cães. As cores pretas e amarronzadas são determinadas pela deposição de eumelanina, já as amarelas e as avermelhadas, pela de feomelanina. A quantidade e a interação entre estes dois pigmentos são alguns dos fatores que determinam o que se observa na pelagem dos cães.

Esta atividade apresenta os onze genes que possuem efeito mais pronunciado na coloração e na padronagem. Basicamente, as características controladas por estes genes podem ser divididas em:

- ♦ Tipo de pigmento: genes E e B.
- ♦ Padronagens: genes K, A, S, T e M\*.
- ♦ Intensidade de coloração: genes C, D, G, I e M\*.

\* Um dos genes, o M, está envolvido tanto na intensidade de coloração quanto na formação de padrões, pois ocasiona uma diluição não uniforme de eumelanina.

O objetivo deste artigo é utilizar a determinação genética da coloração da pelagem canina como um modelo prático para integrar alguns conceitos de genética clássica, como os referentes às interações alélicas (padrões de dominância) e às gênicas (**epistasias** e **interação complementar**), uma vez que este tema, além de ser mais próximo ao dia-a-dia, desperta interesse em boa parte dos alunos.

## MATERIAL NECESSÁRIO

- ♦ Lápis de cor amarela, preta, marrom, cinza.
- ♦ Fichas impressas ou projetadas em data show.
- ♦ Folha impressa com modelo canino para colorir (anexo 1).

## PROPOSTA DE ATIVIDADE

A atividade está dividida em três níveis de complexidade e deve ser apresentada aos alunos por meio de fichas.

**Nível 1** - No nível um, o introdutório, são abordadas as funções de cada gene e de seus alelos (Ficha 1A, Tabela 1), assim como os resultados fenotípicos de suas expressões (Ficha 1B). Estas fichas servem como um primeiro contato com o tema da determinação genética da coloração da pelagem canina e podem ser utilizadas ao fim de uma aula sobre interações alélicas que aborde padrões de dominância em um locus gênico.

**Epistasia** - um dos tipos de interação gênica na qual um locus gênico mascara a expressão fenotípica de outro. Acontece quando os genes estão em uma mesma rota metabólica. Os alelos que mascaram o efeito são chamados epistáticos e os alelos, cujo efeito está sendo mascarado, hipostáticos. Tais genes, quando testados dois a dois em cruzamentos diíbridos, produzem proporções fenotípicas diferentes de 9:3:3:1 na descendência. O desvio nas proporções fenotípicas indica uma interação epistática, embora o genótipo continue a apresentar segregação independente.

**Interação complementar** - interação dos produtos de dois genes complementares, mas de segregação independente, na determinação de uma única característica. A proporção de 9:3:3:1 não é alterada.



## Nível 1

## Ficha 1A

## Funções dos genes e alelos envolvidos na coloração da pelagem canina

Tabela 1. Genes envolvidos na determinação da coloração da pelagem canina (adaptado de KAE LIN, 2013; SCHUMUTZ, 2007). OBS: O número sobrescrito ao lado de cada fenótipo (1-17) corresponde às figuras da ficha 1B. A série alélica dentro de cada loco gênico é apresentada, de cima para baixo, na ordem de dominância.

Lócus (gene)	Efeito
<b>TIPO DE PIGMENTO DEPOSITADO</b>	
<b>Lócus E: <i>Extension (Melanocortin-1-Receptor – MC1R)</i></b>	
E <sup>m</sup>	Controle da produção dos tipos de melanina
E	Produção de eumelanina e feomelanina com máscara melânica de eumelanina <sup>1</sup>
e	Produção de eumelanina e feomelanina <sup>2</sup>
e	Produção exclusiva de feomelanina <sup>3</sup> (tons amarelados e avermelhados)
<b>Lócus B: <i>Brown (Tyrosinase related protein 1 -TYRP1)</i></b>	
B	Determinação da tonalidade de eumelanina
B	Eumelanina preta <sup>4</sup>
b (3 alelos recessivos: b <sup>s</sup> , b <sup>d</sup> e b <sup>c</sup> )	Eumelanina marrom <sup>5</sup>
<b>PADRONAGENS</b>	
<b>Lócus K: <i>Kurokami (CBD103)</i></b>	
K	Condiciona o aparecimento de padrões
K	Inibe o aparecimento de padrões /cor sólida
k <sup>br</sup>	Permite o surgimento de padrões tigrados <sup>6</sup>
k <sup>y</sup>	Permite o surgimento de padrões
<b>Lócus A: <i>Agouti (Agouti Signal Peptide - ASIP)</i></b>	
a <sup>y</sup>	Padronagem envolvendo feomelanina e eumelanina
a <sup>y</sup>	Dourado <sup>7</sup>
a <sup>w</sup>	Aguti <sup>2</sup>
a <sup>t</sup>	Preto e <i>tan</i> ou marrom e <i>tan</i> <sup>8</sup>
a	Preto ou marrom recessivo <sup>9</sup>

**Máscara**

**melânica** - Máscara de eumelanina geralmente sobre o focinho do animal, podendo se estender ao peito, extremidade das patas e cauda. Observável apenas em cães de coloração clara ou tigrados.

**Tigrado** - fenótipo

gerado por ação do alelo k<sup>br</sup>. Na presença deste alelo, onde houver feomelanina depositada na pelagem do cão, pode ser observado um padrão tigrado.

**Dourado** -

padronagem na qual pelos pigmentados com eumelanina e feomelanina estão entremeados, lembrando a cor dourada.

**Aguti** - padronagem

ancestral (lobo). Em um mesmo pelo ocorrem bandas de eumelanina e feomelanina.

**Preto e tan/ marrom e tan**

- padronagem com marcações de feomelanina bem definidas em partes específicas do cão, como acima dos olhos, ao redor da boca, extremidades das patas e peito. É a coloração típica dos dobermanns e rottweilers. OBS: a denominação *tan* se refere aos locais pigmentados com feomelanina.

**Preto recessivo/ marrom recessivo**

- ausência de padrões ocasionada pelo alelo recessivo epistático a, que inibe a produção de feomelanina. Como consequência, somente a eumelanina - preta ou marrom - é visível na pelagem.

<b>Lócus S: Spotted (Microphthalmia-Associated Transcription Factor - MITF)</b> Determinação de padrões com manchas brancas		<b>Padrão irlandês</b> - manchas brancas restritas ao redor do pescoço, no peito e nas extremidades das patas, focinho e cauda.
S	Ausência de manchas brancas	
s <sup>i</sup>	Padrão irlandês <sup>10</sup>	
s <sup>p</sup>	Malhado <sup>11</sup>	
s <sup>w</sup>	Extremely white <sup>12</sup>	<b>Malhado</b> - distribuição aleatória de manchas brancas pelo corpo do animal.
<b>Lócus T: Ticking</b> Manchas salpicadas em fundo branco		
T	Manchas pretas ou marrons salpicadas em fundo branco <sup>13</sup>	<b>Extremely white</b> - padrão no qual as manchas brancas estendem-se por todo ou quase todo o corpo do animal. A pigmentação de lábios, nariz, unhas e coxins é mantida.
t	Sem manchas salpicadas	
<b>CONTROLE DA INTENSIDADE DE PIGMENTO</b> Todas as colorações e padrões na pelagem dos cães estão sujeitas à diluição		
<b>Lócus D: Dilute (Melanophilin – MLPH)</b> Diluição de eumelanina		<b>Isabella</b> - variedade de cães com pelagem marrom diluída.
D	Sem diluição	
d	Eumelanina diluída (preto a cinza; marrom a "Isabella") <sup>14</sup>	
<b>Lócus G: Graying</b> Diluição de eumelanina com o passar do tempo		
G	Dilui preto a cinza progressivamente <sup>15</sup>	<b>Cinza</b> - coloração preta diluída.
g	Sem alteração da coloração	
<b>Lócus I: Intensity</b> Diluição progressiva de feomelanina <sup>16</sup>		
Não se sabe ao certo o tipo de interação entre os alelos presentes neste lócus.		<b>Albino</b> - ausência de pigmento. Neste caso, a pigmentação de lábios, nariz, unhas e coxins não é mantida.
<b>Lócus M: Merle (SILV) *</b> Diluição de eumelanina que origina padrões		
M	Padronagem que lembra um mármore <sup>17</sup>	
m	Sem padronagem desse tipo	
<b>Lócus C: Chinchila (tirosinase-TYR)</b> Presença/intensidade de pigmento		
C	Pigmentação normal	
c <sup>ch</sup>	"Chinchila" (diluição leve na pigmentação)	
c	Sem pigmentação ou albino	
* O gene M também está envolvido na padronagem pois dilui de maneira não uniforme a eumelanina.		



## Nível 1

## Ficha 1B

Alguns dos fenótipos gerados pela expressão de alelos envolvidos na determinação da coloração da pelagem canina



**Figura 1:** Fotografias de cães com fenótipos determinados pelos genes citados na tabela 1. 1) Pastor Alemão com máscara melânica sobre o focinho; 2) Husky Siberiano com pelagem aguti; 3) Labrador com pelagem uniforme amarela (feomelanina); 4) Labrador com pelagem uniforme preta (eumelanina preta); 5) Labrador com pelagem uniforme marrom (eumelanina marrom); 6) Cão sem raça definida (SRD) com pelagem tigrada; 7) Spitz Alemão com padronagem dourada; 8) Rottweiler com padronagem preta e tan; 9) Pastor Belga com pelagem preta uniforme (preto recessivo); 10) Border Collie com padrão irlandês; 11) Cão SRD com padronagem malhada; 12) Pitt Bull com pelagem predominantemente branca (*extremely white*); 13) Cão SRD com manchas pretas salpicadas em fundo branco; 14) Weimaraner com pelagem Isabella (marrom diluído); 15) Poodle preto em transição progressiva para pelagem cinza; 16) Maltês branca devido à intensa diluição de feomelanina; 17) Border Collie com padronagem Merle em regiões de eumelanina.

**Nível 2** - No nível dois, a ficha 2A contém um resumo esquemático das interações hierárquicas que se estabelecem entre quatro dos onze genes e seus respectivos alelos, além da interação entre os loci S e T e informações acerca dos genes que promovem diluição. A análise desta ficha faz com que os alunos percebam que a coloração da pelagem canina resulta de uma rede complexa de interações. A hierarquia de dominância dentro de cada locus gênico está representada da esquerda para a direita, enquanto as interações entre os genes, através de linhas pontilhadas.

Em seguida, são apresentados alguns exemplos de questões envolvendo interações entre um par de genes (Fichas 2B, 2C e 2D). Esta etapa constitui-se de um material útil para a abordagem das interações gênicas, como epistasia e interação complementar. Além disto, ao longo da resolução das questões, os alunos são convidados a ilustrar, com auxílio de lápis de cor, alguns dos fenótipos resultantes dos cruzamentos propostos, a fim de que a abordagem seja mais didática.



## Nível 2: interação entre dois genes

## Ficha 2B

Interação entre os genes E-B

Questão 1

Dois labradores pretos diíbridos foram cruzados (EeBb X EeBb). Sabendo que a relação entre os genes E e B é tal que os alelos de B somente se manifestam na presença do alelo dominante E, determine:

- (a) a proporção dos fenótipos observados na prole e ilustre-os com auxílio de lápis de cor.  
(b) o tipo de interação existente entre estes genes.

Questão 2

Do cruzamento entre dois labradores de cor marrom, é possível o nascimento de um filhote preto? E um filhote caramelo (amarelo)? Explique.

OBS: Os fenótipos devem ser ilustrados com auxílio de lápis de cor e das imagens de cães para colorir em anexo.

## Nível 2: interação entre dois genes

## Ficha 2C

Interação entre os genes K-A e S-T

Questão 3 (Adaptada do Vestibular 2015 – UFRGS)

O quadro ao lado apresenta a distribuição dos 4 diferentes alelos do gene A cujas combinações genotípicas são responsáveis pelos padrões de coloração da pelagem de algumas raças caninas.

Assinale a alternativa correta, considerando que o gene K é epistático em relação ao gene A de tal forma que, na presença de K, todos os cães têm a cor do pelo preta; e que o genótipo kk permite a expressão dos diferentes alelos do gene A. Justifique todas as alternativas incorretas.

- (a) O cruzamento entre cães  $KK a^w$  X  $Kk a^w$  somente resulta em cães com cor do pelo preta.  
(b) Os cães apresentados no quadro são homocigotos dominantes para o gene K.  
(c) O cruzamento entre cães  $kk$  agutis pode acarretar cães dourados.  
(d) A cor de pelo preta somente pode ser obtida em cães homocigotos para os dois genes citados.  
(e) O cruzamento entre diíbridos  $Kk a^w$  resulta em 9/16 animais pretos.

Questão 4:

Dois cães pretos, ambos com o genótipo  $Ss^pTt$ , foram cruzados entre si.

- (a) Estabeleça a proporção fenotípica esperada nos descendentes e ilustre os fenótipos que podem ser observados.  
(b) Que tipo de interação está envolvida nesse caso?

Raça	Padrão de coloração	Genótipo
Doberman	Preto e <i>tan</i>	$a^1a^1$
Collie	Dourado	$a^2a^2$
Collie	Dourado	$a^2a^1$
Pastor de sheetland	Preto	$aa$
Pastor de sheetland	Preto e <i>tan</i>	$a^1a$
Eurasier	Preto	$aa$
Eurasier	Aguti	$a^w a^w$
Eurasier	Aguti	$a^w a^1$
Eurasier	Dourado	$a^2 a^w$
Eurasier	Aguti	$a^w a$

OBS: Os fenótipos devem ser ilustrados com auxílio de lápis de cor e das imagens de cães para colorir em anexo.

## Nível 2: interação entre dois genes

## Ficha 2D

Interação entre os genes de pigmentação e diluição  
(determinação da intensidade do pigmento depositado)

Questão 5

Dois cães da raça Chow Chow diíbridos para os genes D e B foram cruzados.

(a) Determine a proporção esperada na descendência deste cruzamento e ilustre os fenótipos resultantes.

(b) Que tipo de interação gênica pode ser observada?

Questão 6

Dois cães poodles “caramelo” foram comprados ainda filhotes. Com o passar do tempo, um deles se tornou branco. Proponha uma explicação para este acontecimento.

OBS: Os fenótipos devem ser ilustrados com auxílio de lápis de cor e das imagens de cães para colorir em anexo.

**Nível 3** - O nível três é composto por questões desafiadoras relacionadas à coloração dos cães. Na ficha 3A são apresentados problemas teóricos que podem ter mais de uma resposta, o que torna interessante a discussão em grupo. A ficha 3B ilustra um exemplo de como devem ser realizadas as **genotipagens**, seguido de três imagens para que os alunos façam o mesmo. A tarefa mais complexa vem a seguir, que consiste da ficha personalizada de cada aluno: sugere-se que os alunos tragam à sala de aula imagens

de cães de sua preferência, para tentar desvendar as interações alélicas e gênicas existentes. Esta atividade pode ser realizada em grupos de discussão, para que as diferentes possibilidades possam ser levantadas e discutidas. Vale lembrar que este exercício tem como objetivo ser o ápice do nível de complexidade dos elementos que compõem a coloração da pelagem canina e que a discussão e as dúvidas são muitas vezes mais interessantes do que a obtenção de respostas precisas.

**Genotipagem** - determinação de quais alelos estão presentes em cada gene.



## Nível 3: Questões para discutir

## Ficha 3A

Questão 7

- (a) Quais os genótipos possíveis para um cão com a pelagem completamente preta?  
 (b) E para um cão branco?

Questão 8

O locus M (Merle) está envolvido na padronagem mármore quando em heterozigose. O alelo dominante M em dose dupla é letal. Considere o cruzamento entre dois cães com o genótipo BbMm.

- (a) Qual o fenótipo dos pais?  
 (b) Qual a proporção de genótipos e fenótipos esperados na descendência?

## Nível 3: Questões para discutir

## Ficha 3B

Usando como exemplo a genotipagem sugerida para o cão da raça border collie (a), determine o genótipos dos cães (b), (c) e (d).

- (a) Border collie



E\_kvk' bba<sup>t</sup>\_s'\_ tmm

- (b) Galgo



- (c) Border collie



- (d) Pastor suíço



## RESPOSTAS DOS EXERCÍCIOS

## Ficha 2B, questão 1

a) Proporção fenotípica observada na prole:  
9 E\_B\_ Preto : 3 E\_bb Marrom : 3 eeB\_  
Caramelo : 1 eebb Caramelo

ou

9 E\_B\_ Preto : 3 E\_bb Marrom : 4 ee\_\_  
Caramelo

b) Este é um exemplo popularmente utilizado para ilustrar um caso de epistasia recessiva simples (ee epistático sobre o locus B).

## Ficha 2B, questão 2

Não. O cruzamento entre dois labradores marrons não possibilita o nascimento de um filhote preto, pois os dois pais são homocigotos recessivos (bb) para o locus B (para ser preto, é necessário pelo menos uma cópia do alelo dominante B). Um filhote caramelo (ee) pode ser gerado desde que os pais sejam heterocigotos para o locus E, condição que deve ser considerada para que a resposta seja sim. A probabilidade deste evento seria de  $\frac{1}{4}$ .

## Ficha 2C, questão 3

Série alélica do locus A:  $a^y > a^w > a^t > a$

a) Alternativa correta. Todos os filhotes serão homocigotos para o alelo dominante K e os alelos de A, envolvidos na padronagem, não poderão se manifestar. Assim, como presume a questão, todos terão pelagem da cor preta sem padrões.

Justificativas das incorretas:

b) Se os cães fossem homocigotos para o alelo dominante K, nenhuma das padronagens determinadas pelos alelos de A seriam possíveis (K é epistático sobre os alelos de A).

c) O cruzamento entre dois cães agutis ( $a^w\_X a^w\_$ ) pode resultar em colorações aguti, preta e tan e preta recessiva – dependendo da combinação alélica, mas nunca em cães dourados, porque  $a^w$  é o primeiro alelo na série alélica (na ordem de dominância) e sua presença é indispensável para o fenótipo dourado.



d) A cor preta pode ser vista em cães com pelo menos um alelo dominante K (independente do segundo alelo de K e dos alelos do locus A – K é epistático sobre os alelos do locus A - epistasia dominante simples) ou, ainda, em cães com genótipo aa, independente dos alelos presentes no locus K (aa é epistático sobre os alelos de K – epistasia recessiva simples).

e) O cruzamento  $Kk^y/a \times Kk^y/a$  resulta em:

9  $K\_a^y\_$  Pretos

3  $K\_aa$  Pretos

3  $kk^y\_$  Dourados

1  $kkaa$  Preto

Ou 13/16 Pretos e 3/16 Dourados (Epistasia dupla recessiva-dominante)

Ficha 2C, questão 4

Cruzamento:  $Ss^P/Tt \times Ss^P/Tt$

Proporção fenotípica esperada na prole:

9  $S\_T\_$  Pretos uniformes

3  $S\_tt$  Pretos uniformes

3  $s^P s^P T\_$  Malhados com pintas

1  $s^P s^P tt$  Malhado sem pintas

Este é um caso de epistasia dominante simples, na qual os alelos do gene S condicionam o aparecimento de pintinhas salpicadas no corpo do animal (aparecem somente em fundo branco). Proporção fenotípica 12:3:1.

Ficha 2D, questão 5

Cruzamento:  $BbDd \times BbDd$

Proporção fenotípica esperada na prole:

9  $B\_D\_$  Preto

3  $B\_dd$  Cinza (preto diluído)

3  $bbD\_$  Marrom

1  $bbdd$  Marrom diluído

b) Neste caso, a proporção fenotípica de 9:3:3:1 não foi alterada, porque este não é um exemplo de epistasia, mas sim de interação complementar, na qual produtos de dois genes interagem entre si e criam novas classes fenotípicas – tons diluídos.



**Ficha 2D, questão 6**

É provável que o filhote que teve a pelagem diluída apresente um alelo específico para diluição de feomelanina (lócus I), enquanto seu irmão não o possui.

**Ficha 3A, questão 7**

a) Os fenótipos cor sólida preta podem ser gerados por:

Genótipo aa.

Genótipo E\_K\_B\_.

Os fenótipos cor sólida branca podem ser gerados por:

1. Feomelanina diluída a branco (Lócus I – não está definido qual o alelo responsável).
2. Genótipo  $s^w s^w$  – cão com o corpo totalmente branco (podendo haver alguns resquícios de pigmentos pelo corpo).
3. Albinismo (cc).

**Ficha 3A, questão 8**

a) Fenótipo dos pais: Cães pretos e Merle (mármore)

b) Cruzamento: BbMm x BbMm

Proporção genotípica e fenotípica esperada na prole:

6 B\_Mm Preto mármore

3 B\_MM (letal)

3 B\_mm Preto

1 bbMM (letal)

2 bbMm Marrom mármore

1 bbmm Marrom

Ou seja, a proporção de 9:3:3:1 é alterada para:

6/12 preto mármore

3/12 preto

2/12 marrom mármore

1/12 marrom

4 mortes (MM letal)

**Ficha 3B**

b) Galgo  $E^m_k^{br}_B_a^y_S_{mm}$

c) Border Collie  $E_k^y k^y B_a^s s^i_{tt} Mm$

d) Pastor suiço ee diluído até branco (gene I, não se sabe ao certo o alelo)

**PARA SABER MAIS**

DREGER, D. L.; SCHMUTZ, S. M A SINE insertion causes the black and-tan and saddle tan phenotypes in domestic dogs. *Journal of Heredity*, v. 102, p. 11–18, 2011.

*Dog Coat Colour Genetics*. <http://www.doggenetics.co.uk/> > Disponível em 12/03/2015.

KAELIN, C. B.; BARSH, G. S. Genetics of pigmentation in dogs and cats. *Annual Review of Animal Biosciences*, v.1, p. 125-156, 2013.

SCHMUTZ, S. M.; BERRYERE, T. G. Genes affecting coat colour and pattern in domestic dogs: a review. *Animal Genetics*, v. 38, p. 539–549, 2007.



ANEXO 1

<p>Questão:</p> 	<p>Questão:</p> 	<p>Questão:</p> 
<p>Questão:</p> 	<p>Questão:</p> 	<p>Questão:</p> 
<p>Questão:</p> 	<p>Questão:</p> 	<p>Questão:</p> 
<p>Questão:</p> 	<p>Questão:</p> 	<p>Questão:</p> 