REVISTA SCIENTIA PLENA JOVEM

ISSN: 22378014

Material didático

MODELO DIDÁTICO DE PROBABILIDADE APLICADA À GENÉTICA EM SEGREGAÇÃO E CRUZAMENTO DE ALELOS

DIDACTIC MODEL OF PROBABILITY APPLIED TO GENETICS IN ALLELE'S SEGREGATION AND CROSSING

Camila Silen de Almeida Dantas[1], Andreza de Oliveira Pereira[2] e Bruno Lassmar Bueno Valadares[3]

[1]Instituto Federal de Sergipe (IFS); [2]Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas, Universidade Federal de Sergipe (UFS);
[3]Professor do Departamento de Biologia, Universidade Federal de Sergipe (UFS), Campus São Cristóvão.
camillamatsilen@gmail.com

RESUMO

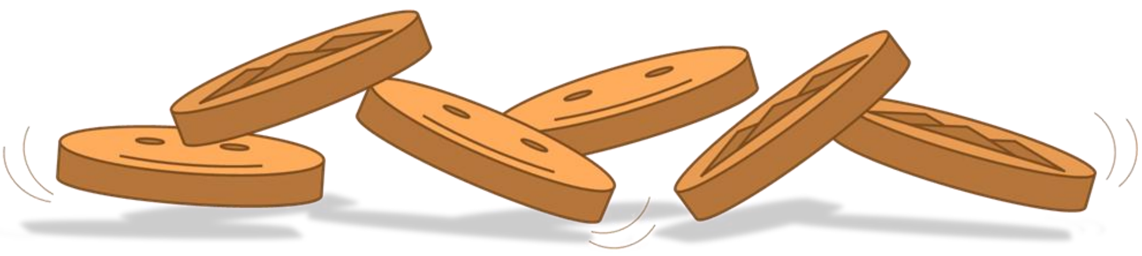
Este trabalho consiste na proposta de um modelo didático voltado para o público de ensino médio e tem o objetivo de representar mecanismos matemáticos da probabilidade aplicada à Genética em exemplos fundamentais de segregação e cruzamento de alelos. O modelo é composto por um diagrama de Punnett e um conjunto de moedas e cromossomos, todos de fácil confecção com material de baixo custo. O modelo permite demonstrar a ocorrência e combinação de eventos independentes, assim como as chances de cada evento acontecer. As probabilidades são demonstradas pela combinação das faces das moedas que em seguida são substituídas por cromossomos, estabelecendo-se a relação com as proporções mendelianas. A atenção com conceitos de probabilidade na Genética se faz importante, pois a não compreensão desses mecanismos básicos compromete todo o aprendizado dos demais conceitos e padrões de herança apresentados no conteúdo do ensino médio.

PALAVRAS-CHAVE: Ensino Lúdico; Instrumentação; Ensino de Ciências e Biologia.

ABSTRACT

This paper consists of the proposal of a didactic model aimed to high school teachers and students and it aims to represent mathematical mechanisms of probability applied to Genetics in key examples of allele segregation and crossing. The model consists of a Punnett diagram and a set of coins and chromosomes, all of them can be easily made with cheap material. The model allows to demonstrate the occurrence and combination of independent events, as well as the chances of each event happens. Probabilities are demonstrated by the combination of the faces of the coins which are then replaced by chromosomes, establishing the relationship between the Mendelian proportions and the coins combination. Paying attention to probability concepts in Genetics is important because the lack of understanding of these basic mechanisms could compromise all the learning of the other concepts and inheritance patterns presented in the content of secondary school.

KEY-WORDS: Playful Teaching; Instrumentation; Teaching of Science and Biology.



INTRODUÇÃO

A teoria das probabilidades permite construir modelos matemáticos que explicam um grande número de fenômenos coletivos e fornecem estratégias para a tomada de decisões (SILVA et al, 2008). Seu surgimento está ligado ao estudo das formas de tentar prever as possibilidades de vitória em disputas de jogos de azar e se tornou um ramo da Matemática em meados do século XV (LOPES; MEIRELLES, 2005; SILVA JÚNIOR, 2008).

A Genética é uma ciência quantitativa e seus processos não são determinísticos, mas sim baseados em eventos aleatórios. O resultado de um processo aleatório pode não ser conhecido, mas sua frequência de ocorrência é prevista por sua probabilidade ou proporção esperada. Para planejar e interpretar corretamente um experimento em Genética é fundamental o conhecimento de probabilidade e estatística (RINGO, 2005).

Um dos motivos do sucesso do trabalho de Mendel foi a utilização de métodos matemáticos de probabilidade para interpretar os resultados obtidos. Ele foi o introdutor da estatística com a ideia de proporções e probabilidades no estudo das características hereditárias (LOPES; ROSSO, 2010; FREIRE-MAIA, 1995).

Antes de progredir na interação entre a probabilidade e a genética, é necessário considerar alguns conceitos referentes à probabilidade, como: experimento aleatório – evento que pode apresentar resultados diferentes, mesmo quando repetido em idênticas condições (observando que em um experimento aleatório o resultado não é previsível, porém, geralmente, é possível descrever o conjunto de todos os resultados possíveis desse experimento); espaço amostral – conjunto de todos os resultados possíveis de um experimento aleatório (SILVA et al., 2008).

Em síntese, a probabilidade de um evento ocorrer é determinada pelo quociente de um número de eventos desejados pelo número total de eventos possíveis, que constitui o espaço amostral (LOPES; ROSSO, 2010). Para um evento simples A, indicamos: $p(A) = \dfrac{1}{n(U)}$. Podemos ainda ampliar essa definição de probabilidade de um evento simples para a probabilidade de um evento qualquer: $p(A) = \dfrac{n(A)}{n(U)}$, em que $n(U)$ é o número de elementos do espaço amostral U e $n(A)$, o número de elementos do evento A (GIOVANNI; BONJORNO, 2005).

Até aqui, nos referimos à probabilidade relacionada a apenas um evento. Entretanto, é possível saber qual a probabilidade de ocorrer um *ou* outro evento. Eventos mutuamente exclusivos são aqueles em que a ocorrência de um exclui a ocorrência do outro. Diz-se que a ocorrência de dois eventos mutuamente exclusivos é igual à soma das probabilidades de ocorrer cada um dos eventos isoladamente. Tem-se, portanto, que: $P(A \text{ ou } B) = P(A) + P(B)$. Esse princípio é conhecido, popularmente, como "*regra do ou*" (AMABIS; MARTHO, 2010). Dessa forma, aceitando-se a ocorrência de um *ou* outro evento, amplia-se o conjunto de possibilidades, pois aceita tanto um evento quanto o outro.

Quando a ocorrência de um evento não afeta a probabilidade de outro evento ocorrer, fala-se em eventos independentes. A teoria das probabilidades diz que a probabilidade de dois ou mais eventos independentes ocorrerem conjuntamente é igual ao produto das probabilidades deles ocorrerem separadamente, $P(A \text{ e } B) = P(A) \times P(B)$. Esse princípio é conhecido, popularmente, como *"regra do e"* (AMABIS; MARTHO, 2010). Quando se exige a ocorrência de um evento *e* outro, as possibilidades são reduzidas, pois a condição de dois eventos coincidentes representa uma situação de maior exclusividade, assim, restringindo suas chances de ocorrer.

Um método resumido de combinar probabilidades foi criado em 1917, pelo geneticista inglês Reginald C. Punnett, para prever proporções genotípicas e fenotípicas na prole de um cruzamento e consiste na construção de um diagrama (ou quadrado) onde os alelos presentes nos gametas de cada genitor são registrados ao longo das margens esquerda e superior e, nas células da grade, a combinação dos alelos de cada gameta (PIERCE, 2012), como pode ser visualizado na Figura 1.

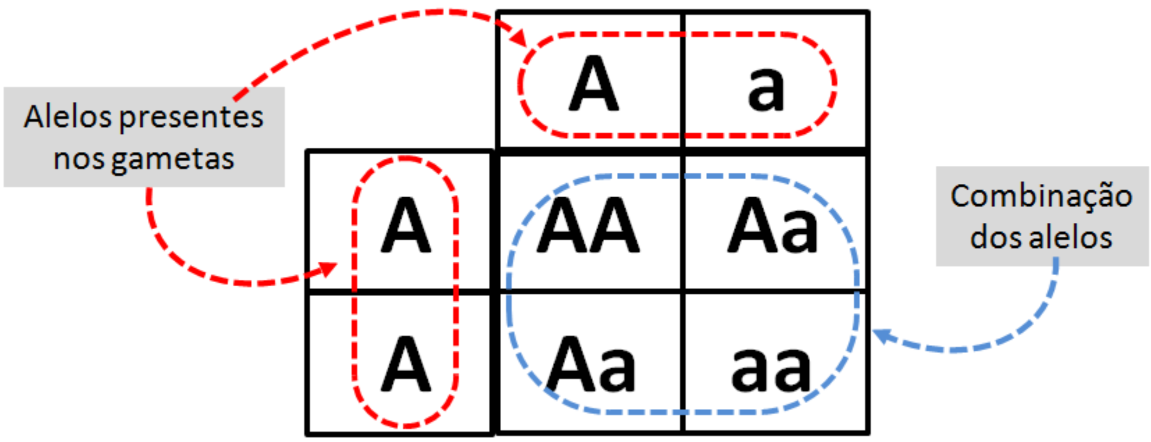


Figura 1 – Diagrama de Punett apresentando alelos e suas possíveis combinações de cruzamento.

DESCRIÇÃO DO MATERIAL

O modelo é composto por um diagrama de Punnett e um conjunto de moedas e cromossomos que podem ser confeccionados com material emborrachado (EVA), tecido (feltro), papelão ou papel cartão.

O conjunto de moedas conta com elementos circulares que apresentam representações de "cara e coroa" em suas faces, sendo três tipos de moedas (12 de cada tipo, num total de 36 moedas), um tipo com faces diferentes (cara e coroa), os outros tipos com faces iguais (apenas cara e apenas coroa, em ambos os lados). Os cromossomos apresentam marcação de um *locus* (posição de um gene) em dois grupos com cores diferentes, também 12 de cada tipo (total de 24 representações de cromossomos).

O diagrama de Punnett pode ser construído em material emborrachado (EVA) ou papelão revestido com feltro, de forma que seja possível fixar os elementos que representam moedas e cromossomos com alfinetes. A Figura 2 mostra exemplos como sugestão para confecção desses componentes do modelo didático. O tamanho do material deve ser adequado para uma boa visualização para toda a classe, pois as explanações serão feitas pelo professor diante da turma de alunos.

Figura 2 – Componentes do modelo didático para ensino de probabilidade aplicada à Genética construídos em papelão revestido com feltro: Representação das moedas com faces "cara" e "coroa" (I e II), representação de cromossomos (III) e diagrama de Punnett (IV).

Réplicas do material em menor tamanho também podem ser feitas com impressão de cópias em papel para que os alunos montem seu próprio modelo. Assim, poderão acompanhar em duplas, ou pequenos grupos, o desenvolvimento da explicação e realizar as atividades e exercícios propostos pelo professor.

O material para impressão vem como anexo ao final do texto (Anexo I – conjuntos de moedas e cromossomos; Anexo II – diagrama de Punnett) e pode ser reproduzido no número de cópias necessário para atender à quantidade de alunos das turmas em que o modelo for utilizado. As moedas deverão ser recortadas e coladas em suas faces opostas (frente e verso), construindo os grupos de faces diferentes (12 moedas "cara e coroa") e de faces iguais (12 moedas "cara e cara", 12 "coroa e coroa").

APLICAÇÃO DA ATIVIDADE

O modelo permite demonstrar a ocorrência e combinação de eventos independentes utilizando tanto os elementos que representam moedas quanto cromossomos. O professor poderá utilizar o modelo para ilustrar de forma dinâmica os processos matemáticos na combinação dos eventos.

Inicialmente, utiliza-se a representação das moedas para atribuir relações de "valores" para cada evento aleatório no sorteio de uma das faces. Tendo a moeda duas faces, uma cara, outra coroa, a chance de se sortear cara é de uma para cada duas possibilidades, assim, ½ (ou 0,5 ou 50%). Então, as chances de se sortear duas caras no lançamento de duas moedas com lados distintos, seria ½ para uma *e* ½ para outra, assim, ½ x ½ = ¼. A Figura 3(I) mostra a representação das possibilidades de combinações das moedas.

Em outra situação, no caso de uma das moedas apresentar lados iguais (por exemplo, cara e cara) e outra com lados distintos (cara e coroa), a chances de sortear cara e cara no lançamento das duas moedas será de 2/2 (=1) em uma moeda e ½ na outra, assim, 1 x ½ = ½, ou então, duas possibilidades com ¼ de chances cada uma, assim, ¼ + ¼ que também resulta em ½, como representado na Figura 3(II). No mesmo exemplo, pode-se questionar qual seria a possibilidade do sorteio de coroa e coroa, em que temos em uma moeda 0 (zero) chances *e* na outra, ½. Assim, 0 x ½ = 0 (nenhuma chance de ocorrer o sorteio de coroa *e* coroa utilizando essas moedas).

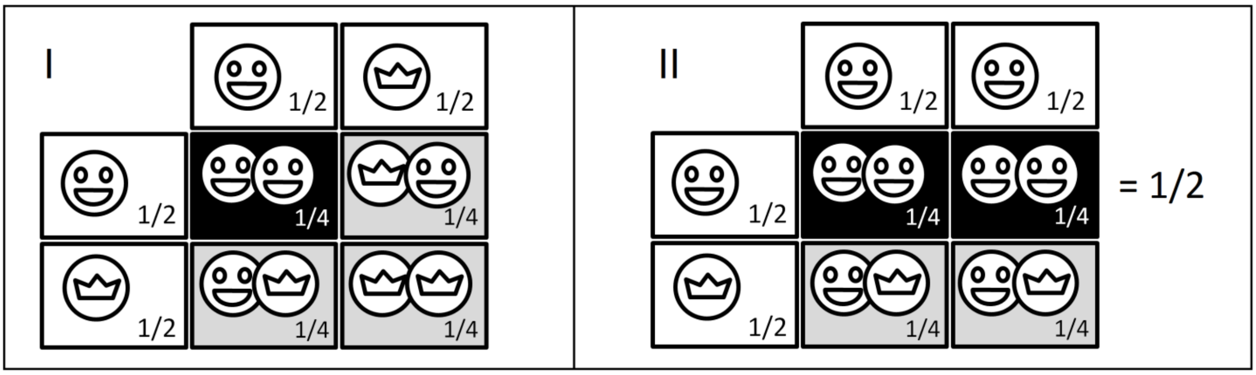


Figura 3 – Possibilidades de combinações no lançamento de duas moedas com: (I) duas faces distintas; (II) uma com faces distintas, outra com faces iguais.

Na Genética, temos a distribuição (segregação) dos alelos pelos gametas e as fecundações ocorrendo ao acaso. Isso significa que o fato de um gameta ter um alelo *A* ("azão"; representação do alelo dominante) não faz com que ele tenha maior chance de fecundar outro gameta do que se tivesse um alelo *a* ("azinho"; representação do alelo recessivo). Assim, a teoria das probabilidades pode ser usada para prever possíveis resultados.

Substituindo as moedas por cromossomos no modelo didático e trabalhando os conceitos de alelos, genótipo, fenótipo, homozigose, heterozigose, dominância, recessividade e segregação, o aluno consegue estabelecer a relações dos "valores" atribuídos à possibilidade de cada evento com as proporções esperadas para cada tipo de genótipo ou fenótipo. Como exemplo, no cruzamento de dois heterozigotos (*Aa*) representados na Figura 4, as proporções genotípicas encontradas são de ¼ para homozigotos dominantes (*AA*), 2/4 para heterozigotos (*Aa*) e ¼ para homozigotos recessivos (*aa*). Considerando a existência da relação de dominância entre os alelos desse gene, indivíduos que manifestam o caráter dominante ocorrerão em uma proporção de ¾, pois organismos homozigotos dominantes *ou* heterozigotos não apresentam distinção de fenótipo (¼ + 2/4 = ¾), enquanto organismos que apresentam o caráter recessivo se limitam ao ¼ dos homozigotos recessivos.

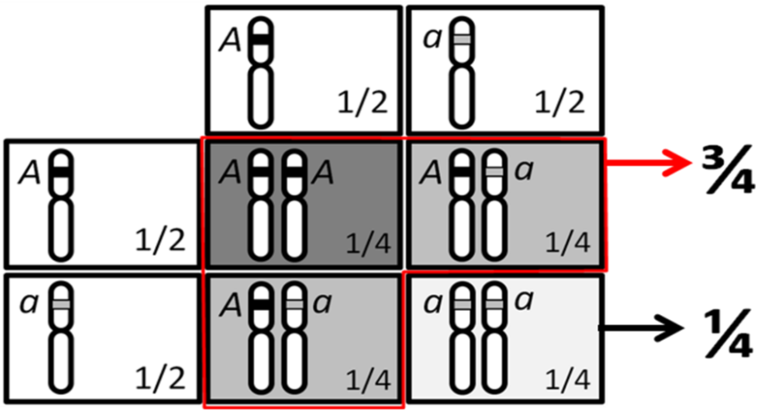


Figura 4 – Representação de um cruzamento entre indivíduos heterozigotos (*Aa*) demonstrando a possibilidades de combinação entre os alelos e a proporção fenotípica de 3 indivíduos com fenótipo dominante para cada 1 recessivo.

Os alelos são representados por variações de cores em um *locus* marcado no modelo dos cromossomos. O professor deve definir quais as cores de marcação no modelo representarão o alelo dominante e o recessivo, podendo ainda ser atribuídas as denominações de letras maiúsculas e minúsculas (*A* e *a*) para representação desses alelos.

No monoibridismo, aplica-se a regra da multiplicação quando realizamos o cálculo da proporção de descendentes no cruzamento de dois heterozigotos. Cada indivíduo *Aa* produz gametas *A* e *a* na proporção de 50% (½) para cada um. A formação de um indivíduo *AA* depende do encontro simultâneo de dois gametas portadores de *A*. A probabilidade desse evento é o produto das probabilidades isoladas para cada gameta, ou seja, ½ x ½ = ¼. Da mesma forma, a probabilidade de um descendente *aa* é de ½ x ½ = ¼.

A regra da adição permite compreender por que a proporção de indivíduos *Aa* no cruzamento entre dois híbridos é ½. Esses indivíduos podem se formar de dois modos: se um gameta masculino *A* fecundar um feminino *a ou* se um gameta masculino *a* fecundar um feminino *A*. Como a probabilidade de cada um desses acontecimentos é ¼, a probabilidade de surgirem indivíduos *Aa* será ¼ + ¼ = 2/4 = ½ (LINHARES; GEWANDSZNAJDER, 2010).

A aplicação da probabilidade de cruzamentos genéticos, como as regras de adição e multiplicação das probabilidades, podem ser usadas em lugar do quadrado de Punnett para prever as proporções da prole esperada de um cruzamento genético. Para cruzamentos envolvendo apenas um gene, o quadrado de Punnett é mais simples e igualmente fácil de usar. Entretanto, quando se abordam cruzamentos mais complexos envolvendo genes em dois ou mais *loci*, como exemplo nos casos de segregação independente, o método das probabilidades é mais claro e mais rápido que o quadrado de Punnett (PIERCE, 2012).

A Figura 5 apresenta o cruzamento entre heterozigotos para dois genes de segregação independente. O diagrama de Punnett pode ser construído com os genes associados em um mesmo quadro (I) ou em quadros independentes (II), permitindo a comparação entre as duas formas para obter o mesmo resultado.

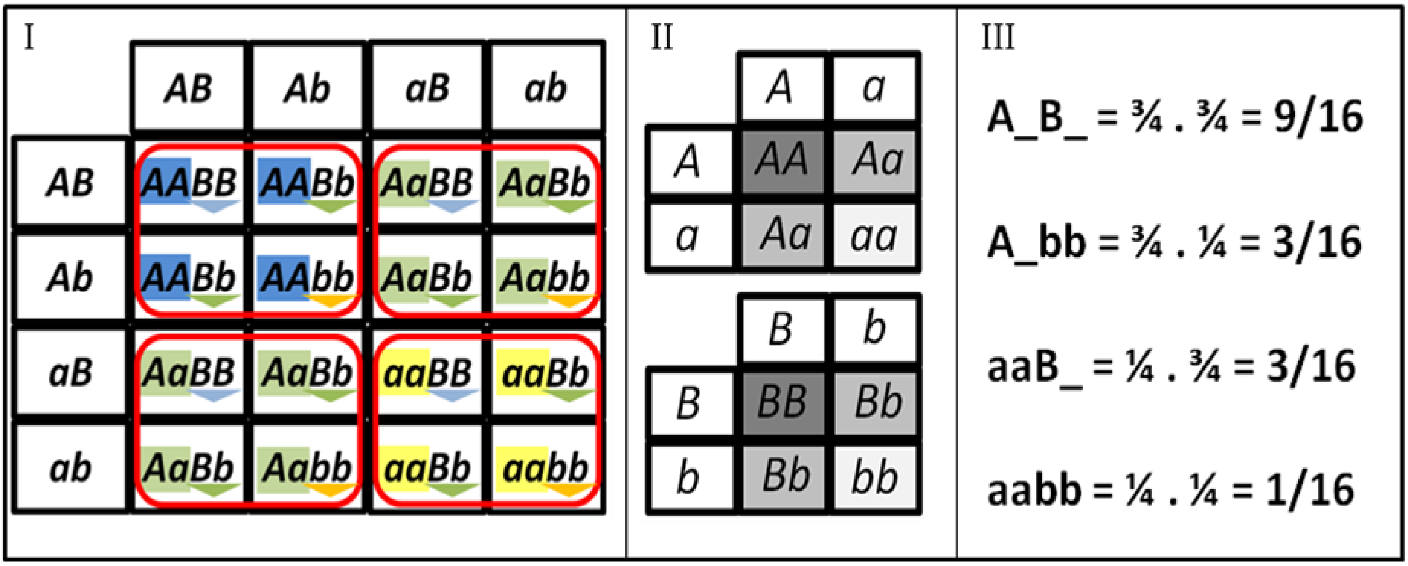


Figura 5 – Comparação entre o diagrama de Punnett para dois genes de segregação independente (I) e a combinação das probabilidades calculadas separadamente (II), onde, em ambas, se obtém o mesmo resultado na proporção 9:3:3:1 (III).

Ainda na Figura 5(I), é possível observar que a associação dos dois genes em um mesmo diagrama consiste na combinação entre os possíveis resultados de cada um deles separadamente. Dividindo o diagrama em quatro quadrantes, observa-se que em cada um deles ocorre a repetição do mesmo diagrama para os alelos do gene B associado a uma das possibilidades de combinação dos alelos do gene A. Por exemplo, no quadrante superior esquerdo, para o gene A, todas as células apresentam a combinação *AA*, associada a uma das combinações dos alelos do gene B, o que se repete em todos os quadrantes, variando apenas a combinação de A em cada um deles. Assim, calcular a combinação de alelos para cada gene independente um do outro torna mais fácil o cálculo da probabilidade ou proporção esperada de descendentes em um cruzamento mais complexo.

Propondo o cálculo da probabilidade de ocorrência de indivíduos homozigotos recessivos para todos os caracteres em um cruzamento entre dois indivíduos, ambos com genótipo heterozigotos para quatro genes (*AaBbCcDd* x *AaBbCcDd*), fica evidenciada a facilidade de se usar a combinação de probabilidades, sendo ¼ x ¼ x ¼ x ¼ = 1/256. Esse cálculo seria muito mais trabalhoso pelo diagrama de Punnett.

É importante que o professor utilize o modelo didático de forma dinâmica e permitindo a atuação do aluno na solução de problemas. Após distribuir cópias do material apresentado nas figuras para recortar (permitindo que os alunos tenham o modelo didático em mãos), alguns exercícios podem ser propostos para que desenvolvam com a utilização do material apresentado.

No Anexo III, são apresentadas algumas sugestões de exercícios para que o professor dê oportunidade aos alunos de desenvolver sozinhos, ou em seus grupos, o cálculo das proporções e probabilidades. O professor pode também elaborar novos exemplos para resolução em sala de aula. Os alunos devem ser orientados para desenvolver separadamente cada gene, utilizando o modelo, e depois combinar suas possibilidades.

De acordo com Valadares et al. (2014), a utilização de modelos didáticos se torna mais eficiente quando permite ao professor liberdade de adaptação a diferentes níveis de complexidade em sua abordagem em sala de aula, o que deve ser feito de acordo com seus objetivos e necessidades da turma.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Uma maior atenção aos princípios básicos da probabilidade irá favorecer o entendimento dos diversos mecanismos de herança estudados como conteúdo do ensino médio, podendo, ainda, diagnosticar e sanar eventuais problemas de compreensão de conceitos matemáticos, decorrentes da formação básica do aluno.

Este modelo didático pode promover a interdisciplinaridade entre Biologia e Matemática de forma lúdica e serve ao educador como importante ferramenta para facilitar o entendimento da probabilidade aplicada à Genética e, assim, desfazendo o mito da complexidade desse conteúdo para o educando.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMABIS, J. M.; MARTHO, G. R. *Biologia*: *Biologia das Populações*. 3. ed. v. 3. São Paulo: Moderna, 2010.

FREIRE-MAIA, N. *Gregor Mendel: vida e obra*. São Paulo: T. A. Queiroz, 1995.

GIOVANNY, J. R.; BONJORNO, J. R. *Matemática Completa.* 2. ed. v. 2. São Paulo: FTD, 2005.

LINHARES, S.; GEWANDSZNAFDER, F. *Biologia hoje*. 2.ed. v. 3. São Paulo: Ática, 2010.

LOPES, C. E; MEIRELLES, E. O desenvolvimento da Probabilidade e da Estatística. In: ENCONTRO REGIONAL DE PROFESSORES DE MATEMÁTICA, 18, 2005, Campinas. **Anais**... Campinas: UNICAMP, 2005. Disponível em: <http://www.ime.unicamp.br/erpm2005/anais/m_cur/mc02_b.pdf>. Acesso em: 30 ago. 2016.

LOPES, S.; ROSSO, S. *Bio*. 3. ed. v. 2. São Paulo: Saraiva, 2010.

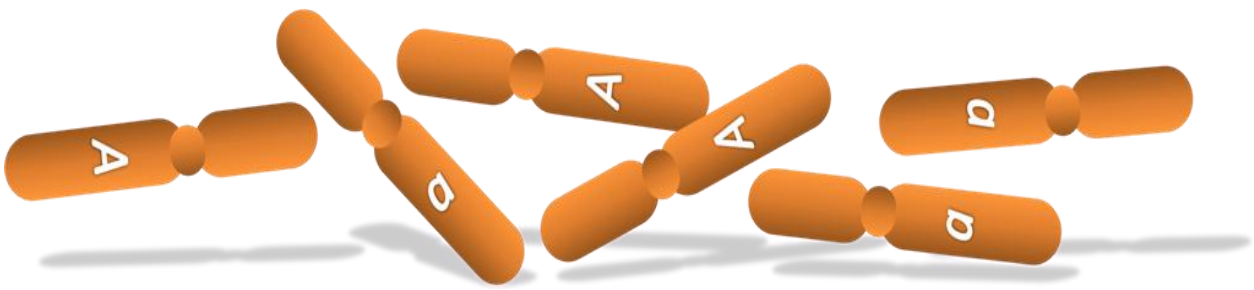
PIERCE, B. A. *Genética essencial: conceitos e conexões*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2012.

RINGO, J. *Genética básica*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2005.

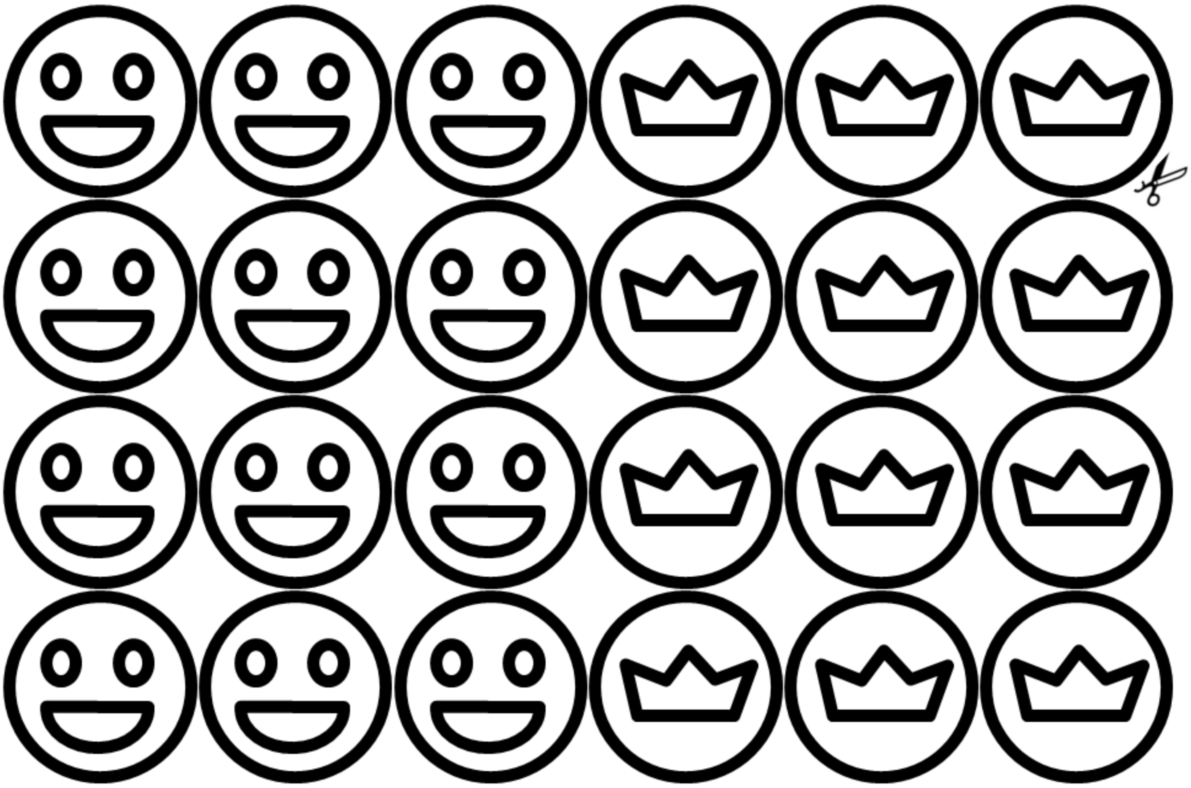
SILVA, E. M.; SILVA, E. M.; MUROLO, A. C.; GONÇALVES, V. *Estatística para os cursos de economia, administração e ciências contábeis*. 5. ed. v. 1. São Paulo: Atlas, 2008.

SILVA JÚNIOR, G. B. da. *Biologia e Matemática:* Diálogos possíveis no Ensino Médio. 2008. 155 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) - Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte. Disponível em: <http://server05.pucminas.br/teses/EnCiMat_BullG_1.pdf>. Acesso em: 16 jul. 2016.

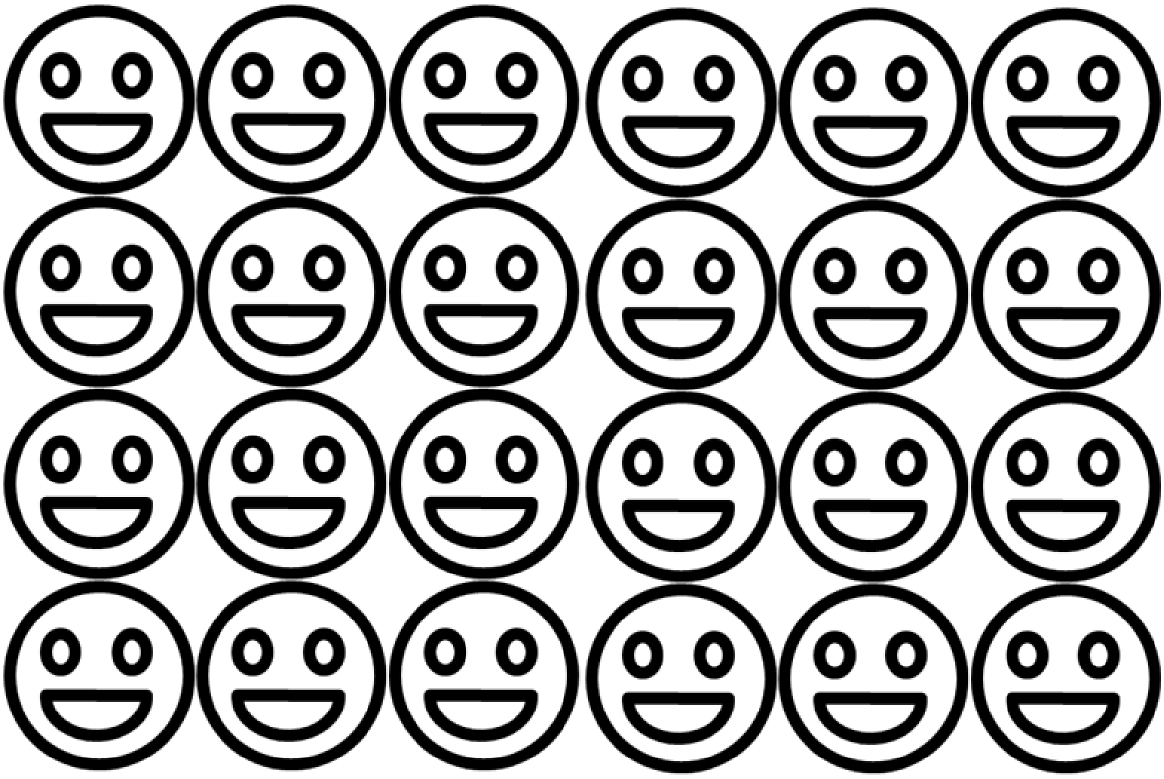
VALADARES, B. L. B.; PEREIRA, A. O.; ALMEIDA, C. S. Morfologia cromossômica e alterações estruturais: um modelo didático. *Genética na Escola*, Ribeirão Preto: SBG, v.9, n.1, p. 20-29, 2014. Disponível em: <http://geneticanaescola.com.br/wp-home/wp-content/uploads/2014/03/VersPress/RevtaGenEsc_9_01_Art03_Press.pdf>. Acesso em: 27 set 2016.



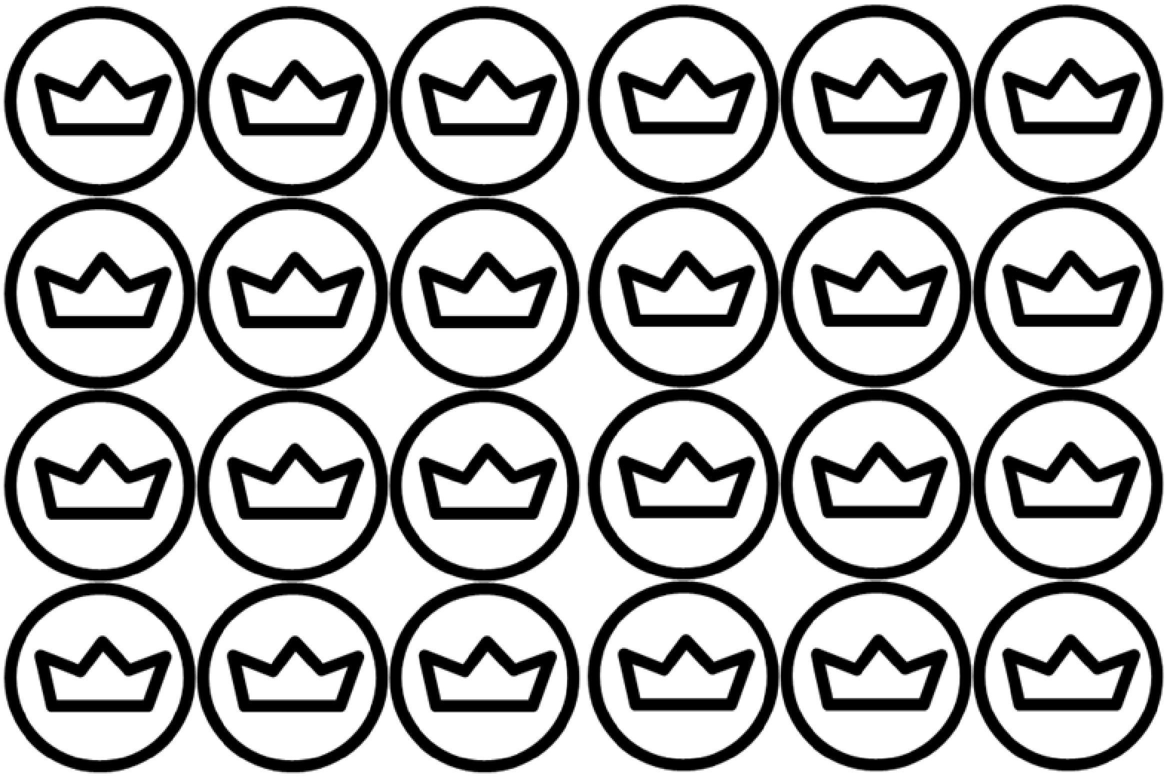
ANEXO I: Peças do modelo para imprimir, recortar e montar.



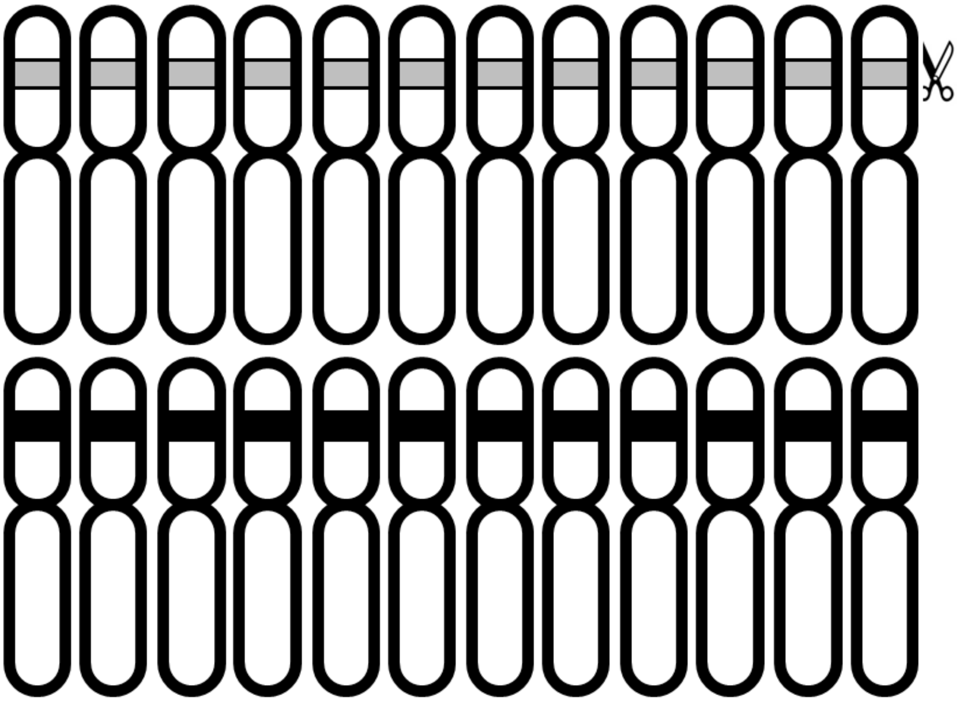
I(a) – Representação das 12 moedas de faces diferentes (cara e coroa) para recortar e colar (atenção para as faces opostas de cada moeda ter tipos diferentes)



I(b) - Representação das 12 moedas de faces iguais (cara e cara) para recortar e colar as faces opostas.

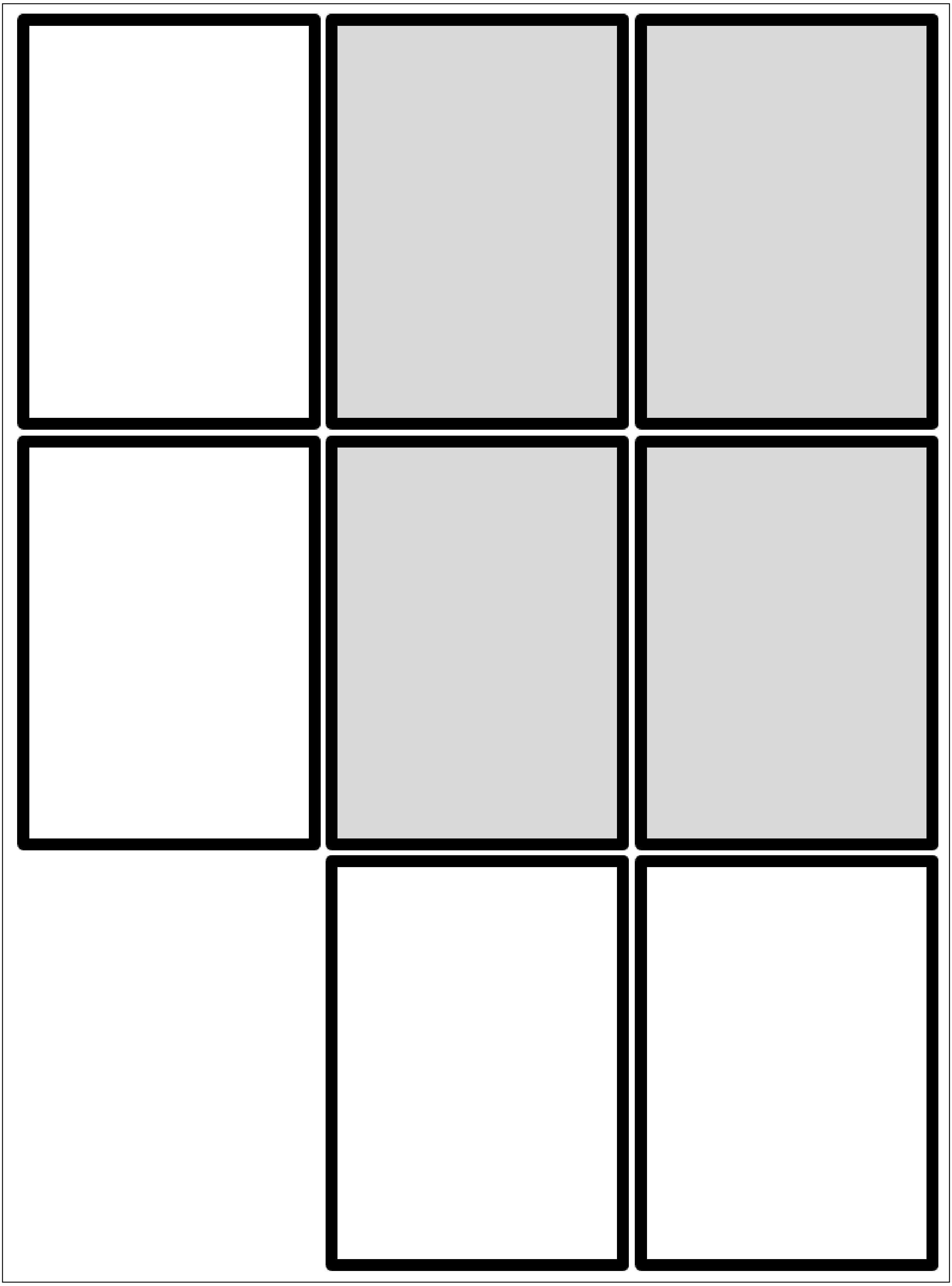


I(c) - Representação das 12 moedas de faces iguais (coroa e coroa) para recortar e colar as faces opostas.



I(d) – Representação dos 24 cromossomos (12 de cada tipo de alelo) para recortar.

ANEXO II: Diagrama de Punnett



ANEXO III: Sugestões de exercícios de probabilidade envolvendo questões de segregação e cruzamento de alelos.

Nas atividades a seguir considere todos os genes envolvidos com segregação independente e relação de dominância completa entre os alelos.

1 - Nos cruzamentos a seguir, qual a proporção esperada para cada classe fenotípica?			
AA x *aa*	*Aa* x *Aa*	*AA* x *Aa*	*Aa* x *aa*

2 - Em cada cruzamento determine a proporção esperada de descendentes:
Com fenótipo recessivo para todas as características em *AaBbCc* x *AaBbCc*
Com fenótipo recessivo para todas as características em *AsBbCC* x *AaBbcc*
Com genótipo heterozigoto para todas as características em *AaBbCc* x *AaBBcc*

3 - No cruzamento entre *AaBbCcDdEe* com *AaBbCcDdEe*:
Qual a probabilidade de um descendente apresentar fenótipo dominante para todas essas características?
Qual a probabilidade de um descendente apresentar genótipo homozigoto dominante para todas as genes?
Qual a probabilidade de um descendente apresentar genótipo heterozigoto para todas as genes?
Qual a probabilidade de um descendente apresentar fenótipo recessivo para todas essas características?

4 - No cruzamento entre *AABbCcddEe* com *AaBbCcDdEE*:
Qual a probabilidade de um descendente apresentar fenótipo dominante para todas essas características?
Qual a probabilidade de um descendente apresentar genótipo homozigoto dominante para todas as genes?
Qual a probabilidade de um descendente apresentar genótipo heterozigoto para todas as genes?
Qual a probabilidade de um descendente apresentar fenótipo recessivo para todas essas características?