Genética na Escola – ISSN: 1980-3540

Canudinhos: uma simulação para aprender genética de populações e seleção natural

Fernando Rossi Trigo[1], André Perticarrari[2], Iara Maria Mora[3], Ricardo Marques Couto[4], Marisa Ramos Barbieri[1]

[1] Casa da Ciência do Hemocentro de Ribeirão Preto, SP
[2] Instituto Federal de São Paulo, Campus São Paulo/CCT-Biologia
[3] Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG
[4] Supervisão Estratégica, Serviço Social da Indústria, Batatais, SP

Autor para correspondência: fernando_r_trigo@yahoo.com.br

Palavras-chave: ensino de genética, anemia falciforme, malária como pressão seletiva, simulação de gerações sucessivas

Genética na Escola – ISSN: 1980-3540

O presente trabalho é o resultado de um processo iniciado em 2001, com o curso de especialização *As células, o genoma e você, professor*, em que, juntos, professores do Ensino Básico, pesquisadores e equipe da Casa da Ciência/Hemocentro - Ribeirão Preto (SP), desenvolveram materiais de apoio pedagógico para as escolas. Um desses materiais, intitulado *Canudinhos*, foi desenvolvido para simular gerações sucessivas de uma população, permitindo abordar alguns conceitos como alelo, genótipo, fenótipo, frequência (fenotípica e genotípica) e seleção natural.

SIMULAR PARA ENTENDER

Entender como acontece a herança de características ao longo das gerações é um obstáculo grande para os alunos e um desafio para os professores, pois é um processo que acontece ao longo do tempo com um conjunto de indivíduos. Modelos, jogos, simulações e outras atividades que possibilitem analogias mais concretas com esse processo são extremamente bem-vindos, pois eles podem criar uma via efetiva para o aprendizado. A simulação pode gerar discussões interessantes, como foi o caso da situação transcrita a seguir:

Aluno palestrante: *O que é anemia falciforme?*

Aluno palestrante (responde ansioso): *É um problema genético (...) que acarreta sérios problemas. Quando a gente possui dois alelos que são representados por S, que são os alelos (...) da anemia falciforme (...), as hemácias ficam com o formato de foice. Quando a gente possui dois alelos A, que é o alelo da hemoglobina normal, ela é comum. Quando a gente possui um alelo A e um alelo S, a gente tem uma tendência a ter a doença e nossa hemácia é meio "torta".*

Professor: *Antes de continuarem, gostaria de fazer uma pergunta: O que é alelo? Por que dois? E não três ou quatro?*

Aluno ouvinte: *São formas diferentes de um gene.*

Professor: *Alelos e genes são as mesmas coisas?*

Aluno ouvinte: *Tem genes alelos...*

Professor: *Genes alelos... um completa o outro?*

Aluno ouvinte: *É tipo... um é para... vamos supor lóbulo preso da orelha... o outro também é para lóbulo solto da orelha... os dois são para isso...*

Professor: *Todo mundo concorda com esta definição? Que tem a ver com uma característica?*

Aluno palestrante: *E por que dois alelos?*

Aluno ouvinte: *Por que um vem do pai e outro da mãe.*

Aluno palestrante: *É isso mesmo. No momento em que recebemos uma célula da mãe, vêm 23 cromossomos, uma parte dos alelos; com a célula do pai recebemos mais 23 cromossomos.*

Aluno palestrante: *No encontro de hoje, a gente vai "simular" o acaso da natureza para saber quem vai ter os alelos A e A, quem vai ter os alelos A e S, quem vai ter os alelos S e S, ou seja, quem terá a anemia falciforme, um "aspecto" da doença, ou quem será saudável.*

Genética na Escola – ISSN: 1980-3540

A transcrição foi retirada de um diálogo entre alunos do ensino médio que ensinavam anemia falciforme para seus colegas. Nela é possível identificar a discussão sobre o conceito de alelos, disparada pela simulação *Canudinhos*, conduzida pela Casa da Ciência do Hemocentro de Ribeirão Preto - SP, e descrita neste trabalho.

CONTEXTO DE DESENVOLVIMENTO

A proposta de alunos ensinarem alunos surgiu de uma palestra no *Adote um cientista*, programa de educação iniciado em 2005 pela Casa da Ciência do Hemocentro de Ribeirão Preto–SP, em que alunos dos ensinos fundamental e médio são orientados em projetos de iniciação/alfabetização científica por pesquisadores do Hemocentro e da Universidade de São Paulo. Na palestra citada, o pesquisador apresentou a anemia falciforme em um contexto no qual a malária é endêmica, discutindo como diferentes pressões seletivas podem atuar sobre uma população. Muitos alunos, principalmente os de ensino fundamental, desconheciam alguns conceitos básicos de genética, o que estimulou dez jovens – a maioria de 1º e 2º anos do ensino médio – a aprenderem mais sobre o assunto e o apresentarem para os mais novos. Procuraram a equipe da Casa da Ciência, que sugeriu um encontro para discutir alguns conceitos básicos de genética. Na ocasião, a equipe decidiu resgatar uma proposta elaborada por um grupo de professores participantes do curso de especialização *As células, o genoma e você, professor*, ocorrido em 2001, na Casa da Ciência. A partir do desafio de criar um novo formato para ensinar conceitos básicos de genética de populações – como genótipo, fenótipo, genes alelos, mutação, seleção natural, probabilidade e acaso – o grupo de professores encontrou na proposta conhecida por **BSCS**, um caminho que atendia parte das suas expectativas. Adaptaram a proposta e apresentaram a simulação *Canudinhos*.

Com estrutura inicial simples, essa simulação foi apresentada várias vezes a grupos diferentes de alunos e, com base nas avaliações da equipe da Casa da Ciência, foi progressivamente melhorada, resultando no formato aqui apresentado.

A PROPOSTA

A atividade *Canudinhos* busca simular a forma com que a anemia falciforme é herdada pelo indivíduo e o efeito disso na população, pressupondo o isolamento em relação a outras populações e o acasalamento aleatório.

A ação básica consiste em simular, a partir de uma população parental (geração P), as cinco próximas gerações filiais (F1, F2, F3, F4 e F5) e avaliar a variação na frequência dos alelos envolvidos (A e S), observando o efeito de diferentes pressões seletivas (anemia falciforme e malária).

Para facilitar o uso da atividade e a discussão dos conceitos envolvidos, sugere-se desenvolver a simulação em duas etapas. A intenção da primeira etapa é familiarizar os alunos com a simulação, apresentar a herança da anemia falciforme e permitir a visualização do efeito da seleção natural sobre os homozigotos SS. Essa é uma etapa introdutória que pode ser usada para que os alunos apliquem conceitos que já tenham sido trabalhados pelo professor em uma situação mais concreta, ou pode servir como problematização para iniciar a apresentação dos conteúdos, cabendo ao professor a decisão.

Na segunda etapa da simulação, aumenta-se a complexidade do problema, com a incorporação da malária como novo agente seletivo da população, uma vez que atua sobre os homozigotos AA. Os alunos discutirão a interação entre pressões seletivas distintas e seu impacto na mortalidade, bem como nas frequências alélicas e genotípicas da população.

PRIMEIRA ETAPA – HERANÇA DA ANEMIA FALCIFORME

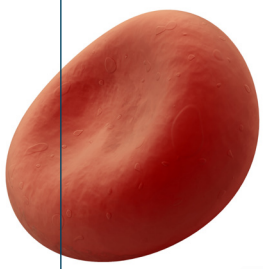
No início da atividade, conceitos relacionados ao indivíduo – como genótipo e fenótipo – foram priorizados; posteriormente ampliou-se a discussão para conceitos relacionados à população – como amostra, geração parental e filial, frequências genotípicas e alélicas. Toda a discussão dos conceitos foi feita dentro do contexto da simulação (Tabela 1).

Biological Sciences Curriculum Study (BSCS): adaptado pela equipe de professores do Instituto Brasileiro de Educação, Ciência e Cultura (Ibecc) e da Fundação Brasileira para o Desenvolvimento do Ensino de Ciências (Funbecc), tradução e adaptação Norma Maria Cleffi. – Ed. rev. - Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1967, Parte I; Parte II.

Genética na Escola – ISSN: 1980-3540

Tabela 1.
Definição de alguns conceitos e sua aplicação na simulação *Canudinhos*.

Conceitos básicos	Aplicação na simulação
Gene A unidade fundamental física e funcional da hereditariedade, que leva informação de uma geração para a seguinte; um segmento de DNA composto de uma região que é transcrita e uma sequência reguladora que controla a transcrição	
Alelo Uma das formas diferentes de um gene que pode existir em um único lócus	Apresentação dos genes alelos A (normal) e S (falciforme)
Genótipo A composição alélica de uma célula, seja de toda a célula ou, mais comumente, de certo gene ou conjunto de genes	Apresentação das constituições genotípicas dos indivíduos da população: • Indivíduo homozigoto (AA) • Indivíduo homozigoto (SS) • Indivíduo heterozigoto (AS)
Fenótipo A forma de alguma característica (ou grupo de características) em um indivíduo; as manifestações externas detectáveis de um genótipo específico	• Síntese somente da hemoglobina normal (HbA), que ocorre nos indivíduos com o alelo A • Síntese somente da hemoglobina falciforme (HbS), que ocorre nos indivíduos com o alelo S • Síntese dos dois tipos de hemoglobinas (HbA e HbS), que ocorre nos indivíduos heterozigotos (AS)
Geração parental As duas linhagens ou organismos individuais que constituem o começo de um experimento de cruzamento genético; sua prole constitui a geração F_1	Geração P (na proposta, composta por 50% de alelos A e 50%, de alelos S)
Gerações filiais Gerações sucessivas de prole em uma série de cruzamentos controlados, começando com dois genitores específicos (a geração P) que, por autofecundação ou fecundação cruzada, origina a prole de cada nova geração (F_1, F_2, ...)	Gerações F_1; F_2; F_3, F_4 e F_5 Observação: por se tratar de uma simulação da espécie humana, considera-se apenas a fecundação cruzada entre os indivíduos
Seleção natural Processo em que as diferenças nas características dos indivíduos de uma população (sejam elas anatômicas, fisiológicas ou comportamentais) causam diferenças nas taxas de reprodução de cada um deles	A anemia falciforme seleciona negativamente os indivíduos SS, enquanto a malária seleciona os indivíduos AA.



De posse das orientações gerais sobre como realizar a atividade, os alunos iniciaram a simulação da primeira geração filial (F1) a partir de uma geração parental (P), composta por 50% de alelos A e 50%, de S (Figura 1). À medida que foram realizados os sorteios, os resultados foram transcritos para uma planilha eletrônica (veja sugestão de planilha no link - Figura 2), permitindo a visualização dos gráficos durante o processo de simulação.

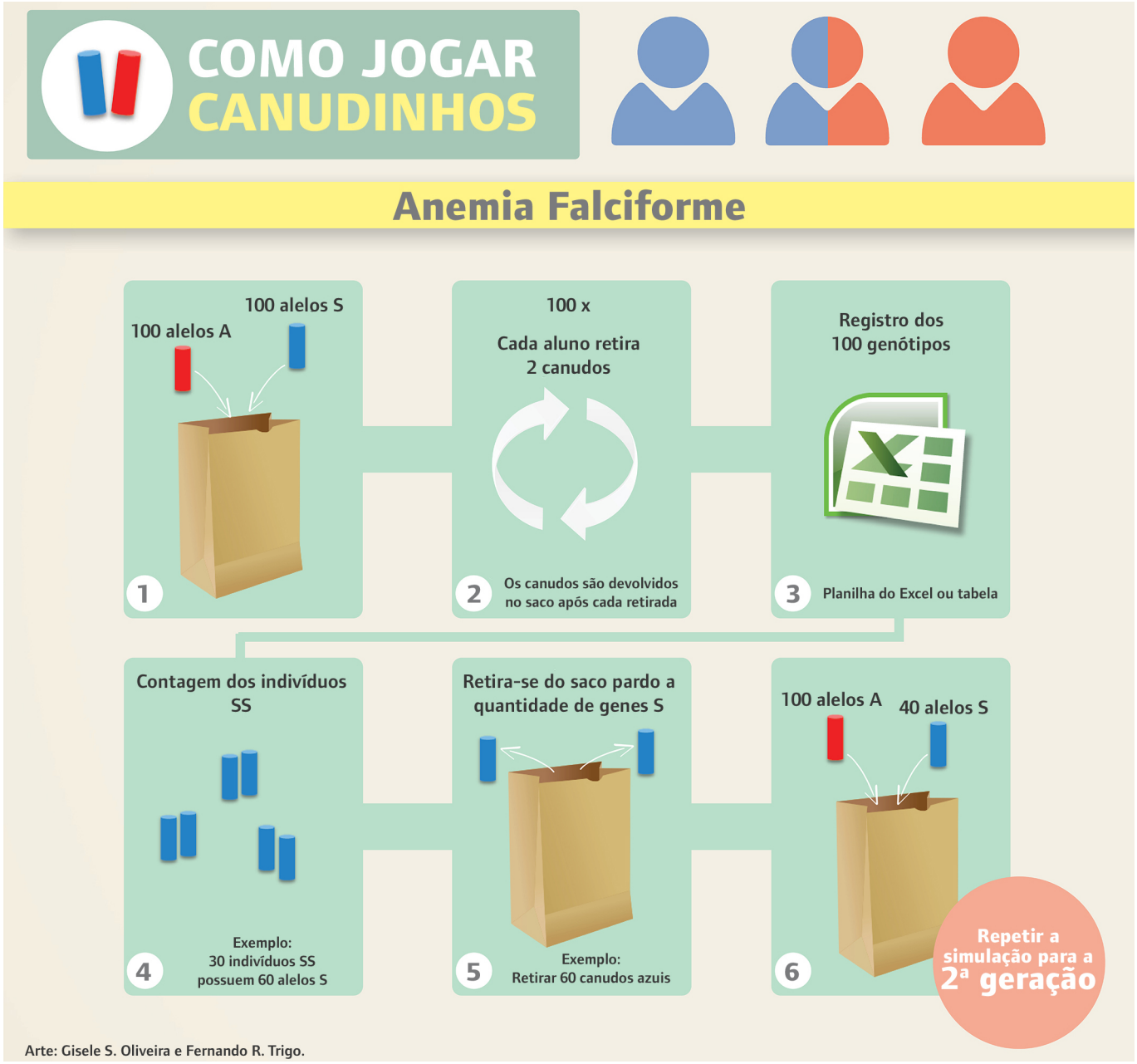


Figura 1. Como conduzir a primeira etapa da simulação *Canudinhos*.

1. Cada alelo do gene em questão é representado por uma cor de canudo cortado com aproximadamente 2,5 cm. O alelo normal (A) é representado pela cor vermelha e o falciforme (S), pelo azul. Em um saco de papel pardo são adicionadas 100 cópias de cada alelo, totalizando 200 canudos (geração P).
2. Ao acaso, são retirados dois canudos simultaneamente, que representarão o genótipo de cada indivíduo. Após o sorteio, os canudos devem retornar para o saco pardo.
3. Os resultados são registrados em uma tabela (disponível para download no link) a partir da qual os cálculos das frequências dos genótipos e dos alelos serão realizados.
4. e 5. Nessa primeira etapa, os indivíduos que carregam os genótipos AA e AS devem ser mantidos no saco de sorteio, enquanto que os SS devem ser removidos na próxima geração. Assim, após as 100 retiradas, deve-se contar o número de indivíduos SS produzidos nos sorteios e remover o número correspondente de alelos do saco. Essa é uma analogia com o processo de seleção natural, que excluiria os indivíduos SS da população.
6. Após a retirada dos canudinhos correspondentes aos indivíduos SS, faz-se novo sorteio, que corresponde a uma nova geração. Deve-se repetir o processo até obter cinco gerações filiais.

Genética na Escola – ISSN: 1980-3540

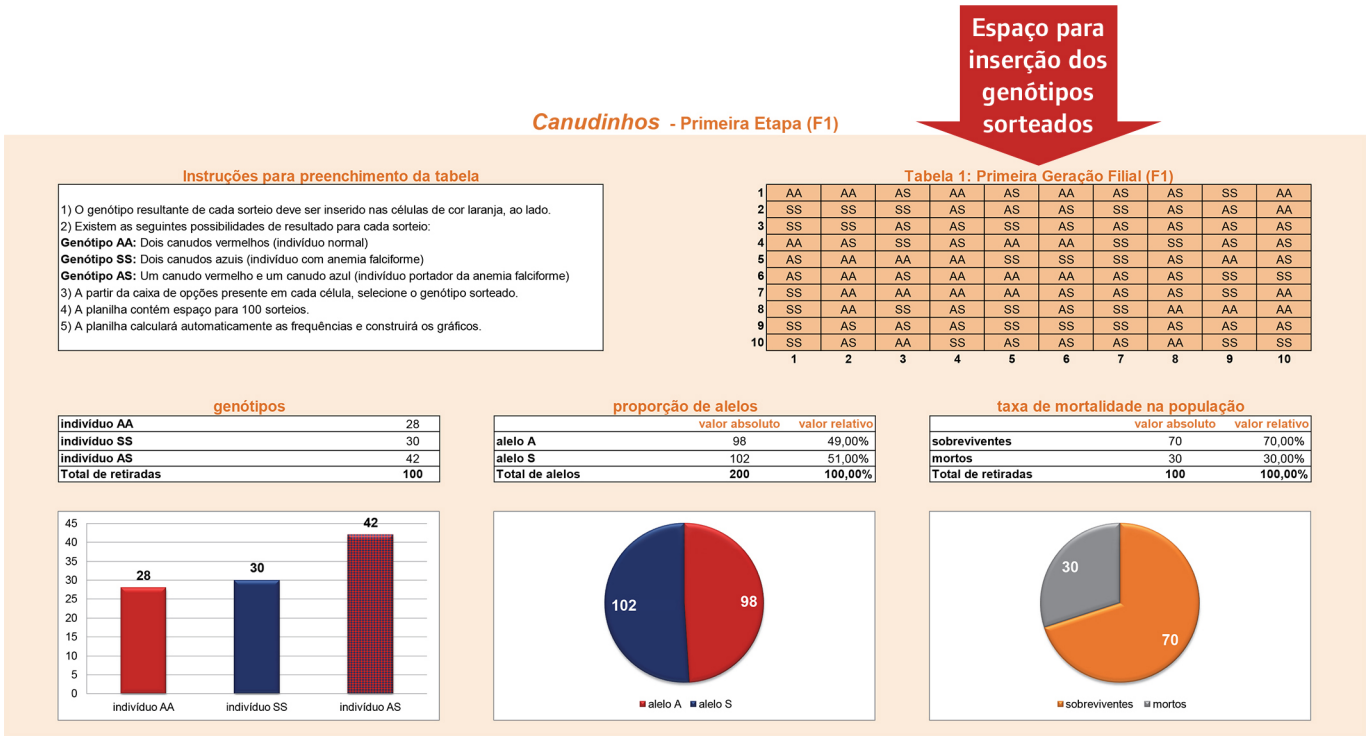
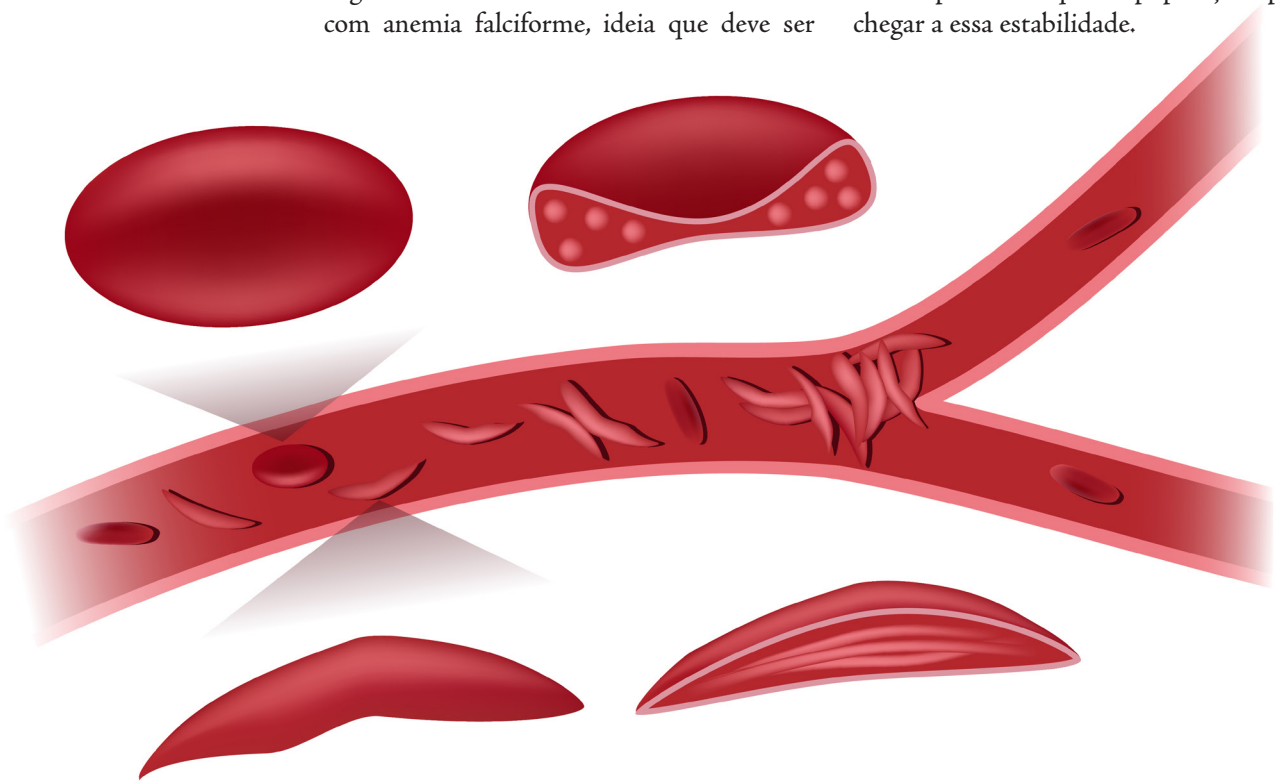


Figura 2.
Os genótipos sorteados podem ser inseridos na planilha (disponível neste link), permitindo aos alunos visualizarem os resultados graficamente.

Simulada a primeira geração filial (F1), os alunos a consideraram como parental para a próxima geração (F2); em outras palavras, repetiram o procedimento, até obter quatro gerações (F2, F3, F4 e F5), preenchendo as planilhas com os genótipos sorteados. Vale lembrar que foram retirados do saco de sorteio os canudos correspondentes aos indivíduos SS; essa retirada representa a seleção negativa do ambiente sobre os indivíduos com anemia falciforme, ideia que deve ser sempre ressaltada pelo professor. Caso o professor disponha de pouco tempo, como são necessários de 10 a 15 minutos para simular cada geração, é possível simular apenas as três primeiras (F1, F2 e F3), o que geralmente garante que os alunos percebam as principais mudanças nas frequências alélicas e genotípicas. Nas gerações F4 e F5, poucas alterações são observadas, mas é importante que os alunos percebam que as populações podem chegar a essa estabilidade.



Espera-se, ao final das simulações, obter cinco tabelas que correspondam aos genótipos de cinco gerações sucessivas, cujos resultados serão agrupados na planilha "Análise das gerações" (6ª planilha do arquivo disponível para download). Na figura 3, um exemplo simulado (disponível para download neste link), que demonstra o aumento dos alelos A (em F5 alcança 89,5%) e a redução dos S (em F5 é reduzido para 10,5%) devido à ação seletiva da anemia falciforme. Perguntas como "*Quais indivíduos são responsáveis pela transmissão dos alelos S para a próxima geração?*" e "*O alelo S pode desaparecer da população?*" podem ser apresentadas pelo professor para direcionar as observações dos alunos e estimular discussões nos grupos. No exemplo, vale ressaltar o decréscimo na taxa de mortalidade ao longo das gerações (alcança apenas 1% em F5), já que isso não ocorreu em outras condições, como a proposta para a segunda etapa.

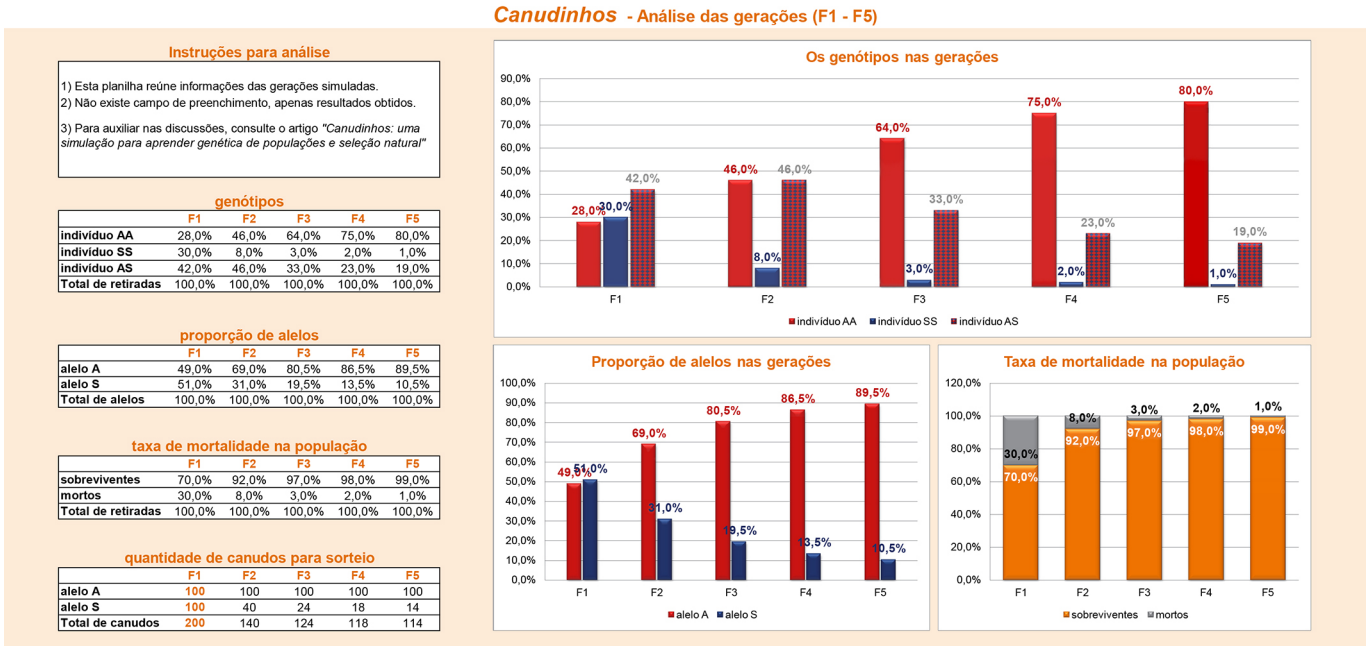


Figura 3.
Gráficos gerados a partir dos resultados da simulação de cinco gerações, de acordo com a primeira etapa proposta para *Canudinhos*, em que somente a anemia falciforme atua como agente seletivo.

SEGUNDA ETAPA – MALÁRIA: NOVA PRESSÃO SELETIVA

Finalizada a primeira etapa, outra situação foi proposta: a malária como novo agente seletivo. Essa doença, causada pelo protozoário do gênero *Plasmodium*, diminui a sobrevivência de indivíduos normais (AA), enquanto os indivíduos heterozigotos (AS) apresentam maior sobrevida. Dessa forma, indivíduos AA também são negativamente selecionados, o que traz consequências para a constituição genética da população ao longo das gerações.

Para essa nova situação, outro saco será utilizado para um segundo sorteio, que incluirá todos os indivíduos AA sorteados no primeiro saco. Considerando que 30% dos indivíduos normais (AA) morrem devido à doença (serão chamados de AAm daqui em diante), o segundo saco continha 3 papéis escritos "morte" (representando a chance de 30% de ser eliminado pela malária) e 7 escritos "sobrevivência" (representando a probabilidade de 70% de sobreviver). Caso fosse retirado um papel "morte", o indivíduo AA seria considerado morto e seus genes não constituiriam a próxima geração, retirando-

-se dois canudos vermelhos do saco de sorteio para a simulação seguinte (Figura 4). A planilha sugerida para conduzir a segunda etapa da atividade é um pouco diferente da utilizada na primeira etapa e também está disponível para download (neste link).

Figura 4.
Como conduzir a segunda etapa da simulação *Canudinhos*.

Na primeira etapa, a presença de um alelo associado à anemia falciforme (S) é uma característica negativa para o indivíduo e para a população. No entanto, na segunda etapa, a situação é diferente: a seleção natural atua nos dois homozigotos (AA e SS), mas não no heterozigoto (AS), o que lhe confere vantagem na sobrevivência. Assim, estabelecer relações entre os resultados obtidos na primeira e segunda etapas é importante para discutir questões mais profundas sobre seleção natural. Explorar questões como "*Quem exerce maior pressão seletiva na população: a anemia falciforme ou a malária?*" ou "*Qual interpretação deve ser dada quando a quantidade de canudos presente no saco pardo não for suficiente para simular a próxima geração?*" (situação apresentada na Figura 5, com simulação até F4) tornam este momento da aula bastante propício para discussões.

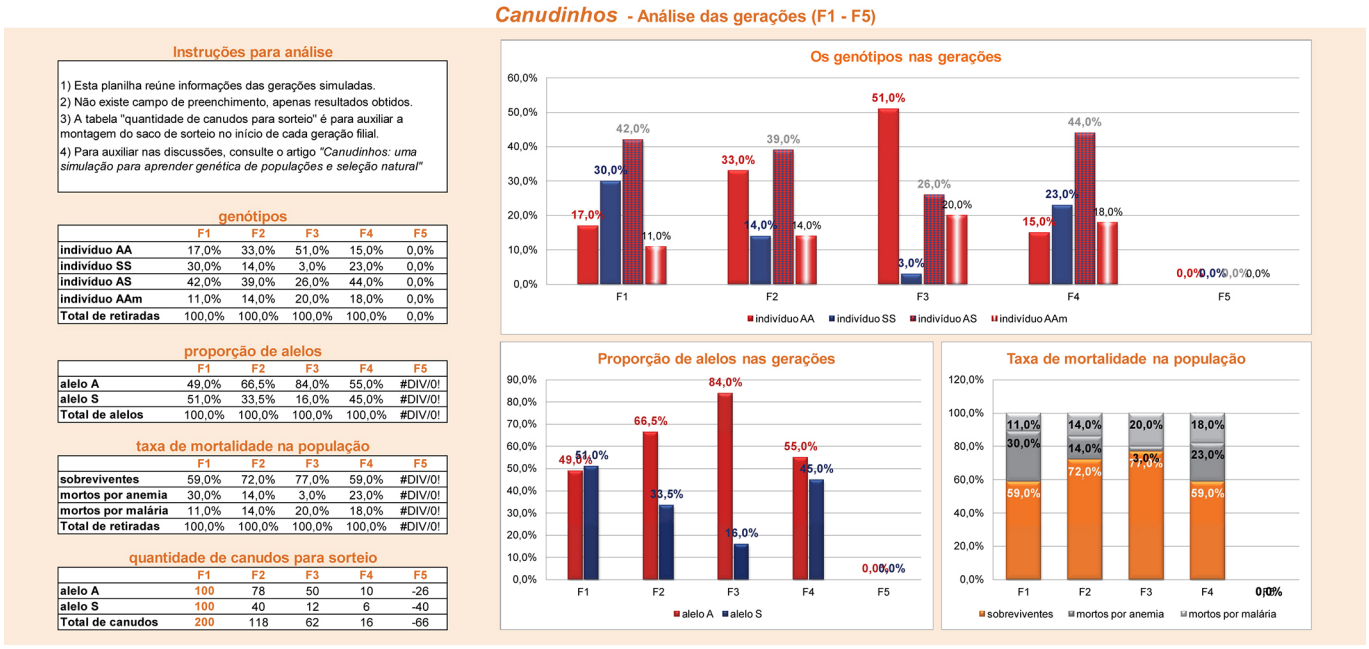


Figura 5. Gráfico gerado a partir da simulação de quatro gerações, considerando a anemia falciforme e a malária como agentes seletivos. A quinta geração não pôde ser simulada, pois a taxa de mortalidade foi muito elevada, resultando em quantidade insuficiente de canudos no saco pardo (disponível para download neste link).

O esgotamento dos canudos é uma analogia com a possibilidade de extinção de uma população. Ao tratar dos motivos que levaram a isso, o professor pode discutir o impacto da seleção natural em populações pequenas, em que a alta pressão seletiva aumenta a taxa de mortalidade, e, consequentemente, o número de gerações que podem ser simuladas: na 1ª etapa, 44 indivíduos foram mortos pela anemia falciforme ao longo de cinco gerações; na 2ª etapa, 133 mortos (70 por anemia falciforme e 63 por malária) em apenas quatro gerações (Figura 5). O professor pode propor outras simulações para estudar melhor a situação, como o aumento da população parental e a quantidade de cruzamentos (por exemplo, poderia iniciar com 200 canudos vermelhos e 200 azuis, com 200 retiradas em cada geração filial) ou propor a redução da pressão seletiva da malária (reduzir para 10% ou 20%, por exemplo). Nesta linha de discussão, questionar os alunos sobre "*O que aconteceria se as pressões seletivas continuassem atuando com esta intensidade sobre a população?*", poderia levar às questões de extinção de populações ou à importância da variabilidade genética para a sobrevivência.

Genética na Escola – ISSN: 1980-3540

AGRADECIMENTOS

Canudinhos contou com a colaboração de alunos, professores, pesquisadores e equipe da Casa da Ciência, participantes de programas educacionais no Hemocentro de Ribeirão Preto, cujos resultados estão disponíveis no acervo *Ponto de Informação, Pesquisa e Organização em Ciências* (Pipoc), que documenta e registra as atividades educativas que acontecem na Casa da Ciência e possibilita reavaliar e investigar a relação entre os programas desenvolvidos.

Agradecimentos especiais são dados à professora e Angela Maria Toniollo Sarni; aos pesquisadores Kiyoko Abe Sandes, Ádamo Davi Diógenes Siena e Carolina Arruda de Faria; ao médico e pesquisador Ivan de Lucena Angulo; à jornalista Gisele de Souza Oliveira, pela elaboração dos infográficos e edição das imagens e, principalmente, a todos os alunos que contribuíram para a avaliação e para o aperfeiçoamento desta proposta.