

O princípio elementar de Mendel aplicado a teste de paternidade: uma simulação a partir do triângulo amoroso em Dom Casmurro

Vagner Damião da Silva Ramos, Rafaela Magalhães Aires, Andréa Carla de Souza Góes

Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Departamento de Ensino de Ciências e Biologia, Instituto de Biologia, Rio de Janeiro, RJ

Autor para correspondência: acgoes@uerj.br

Palavras-chave: literatura, ensino de genética, teste de paternidade

A atividade demonstra a tecnologia associada ao teste de paternidade, levando o estudante a visualizar o princípio mais elementar postulado por Mendel, a transmissão de caracteres, aos pares, da geração parental aos filhos. Estes caracteres, alelos do tipo microssatélite, são o alvo de análise da metodologia relacionada ao teste de paternidade. São utilizados, como exemplo de indivíduos testados, as personagens fictícias de um clássico da literatura brasileira, em *Dom Casmurro*, obra de Machado de Assis. Além de se apresentar como potencial instrumento para a compreensão da primeira lei de Mendel e divulgador de técnicas básicas de biologia molecular no contexto da vinculação genética de indivíduos, o material didático pode ser um estudo interdisciplinar, com a interação entre professores de biologia e português/literatura, no ensino médio. O material didático é constituído de quatro etapas que exemplificam, através de reagentes e materiais artesanais, o processo laboratorial de vinculação genética de indivíduos: extração de DNA a partir de frutas, manipulação de um protótipo de termociclador, eletroforese em gel de maisena para separar corantes e manipulação de peças que simulam as regiões microssatélite do DNA dos três indivíduos analisados (Capitu, Ezequiel e Bentinho) para determinação de casos de inclusão ou exclusão de paternidade.

A OBRA *DOM CASMURRO* E O CONTEXTO DE UM TESTE DE PATERNIDADE

Dom Casmurro, escrita por Machado de Assis e publicada em 1900, é considerada uma obra fundamental da literatura brasileira. É um romance em que é narrada a vida de Bentinho, o protagonista, e o seu relacionamento com a amada Capitu, desde a infância, no Rio de Janeiro do Segundo Império. A ambiguidade de Capitu e o ciúme de Bentinho compõem o enredo central da trama e retratam costumes morais da época. Quando Ezequiel nasce, Bento tortura-se com suas dúvidas em relação à moral de Capitu e suspeita que o menino seja filho do seu melhor amigo, Escobar. O caráter ambíguo de Capitu, descrita pelo autor como a moça dos “olhos de ressaca”, despertou grande polêmica e variadas interpretações da obra, principalmente em relação ao enigma da paternidade: seria Ezequiel filho de Bento ou de Escobar? Ao associar o romance ao teste de paternidade, tem-se também a possibilidade de se fazer uma leitura desse clássico da literatura brasileira.

TESTE DE PATERNIDADE E GENÉTICA MENDELIANA

Ao realizar experimentos para estudar o mecanismo de transmissão de caracteres entre gerações, através das ervilhas, Mendel postulou algumas teorias. Entre elas, a de que cada organismo possui um par de fatores responsável por determinada característica. Esses fatores são provenientes dos pais. Hoje, sabemos que esses fatores, denominados alelos, estão situados nos cromossomos (DNA). Se os dois alelos do indivíduo para um determinado locus (região do DNA) são iguais, dizemos que há homocigose. Se os alelos são diferentes, dizemos que há heterocigose para tal locus cromossomal.

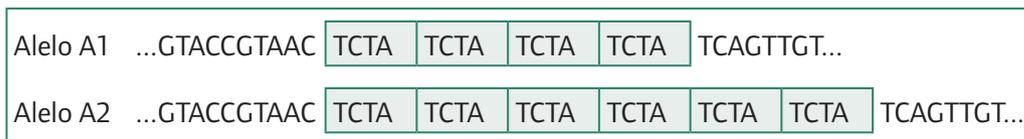
A tecnologia de identificação genética de indivíduos foi desenvolvida em 1985 pelo britânico Alec Jeffreys. Logo em seguida, a análise do DNA foi, pela primeira vez, realizada com fins forenses, na Inglaterra, para elucidar um problema de imigração. Pouco tempo depois, uma evidência genética foi aceita por tribunal britânico para comprovar a partici-

pação de um indivíduo em casos de abuso sexual cometidos entre 1983 e 1986. A metodologia foi aprimorada e, a partir da década de 90, tornou-se uma ferramenta imprescindível para estudos de provas biológicas produzidas em laboratórios e aceitas perante tribunais para auxiliarem em julgamentos. Assim, vestígios biológicos provenientes de crimes, como os raspados coletados de armas ou de delitos sexuais, podem ser analisados geneticamente.

Através do material didático desenvolvido, demonstramos o princípio mais básico da lei de Mendel, na resolução de um caso de paternidade.

Atualmente, para relacionar pessoas através do DNA, são analisadas regiões do genoma altamente variáveis ou polimórficas, denominadas microssatélites, as quais são constituídas de sequências curtas repetitivas e consecutivas (STR - *short tandem repeats*). Os microssatélites ou STR estão presentes em todos os cromossomos humanos. A Figura 1 mostra o exemplo da sequência do STR denominado D3S1358 (repetição TCTA), localizado no cromossomo 3. A figura representa uma porção do cromossomo e seus respectivos alelos (na figura representados como A1 e A2). Como se sabe, desde que estabelecido por Mendel, em 1865, todos os nossos cromossomos existem nas células aos pares, sendo um cromossomo proveniente da mãe e o outro do pai. No entanto, regiões microssatélites do DNA (ou STR) não são codificantes, ou seja, não expressam proteínas, como aquelas regiões analisadas por Mendel, nas ervilhas. O indivíduo caracterizado na Figura 1 apresenta o microssatélite TCTA com quatro repetições no alelo A1 e com seis repetições no alelo A2. Diz-se que este indivíduo possui os alelos 4 e 6 para o microssatélite D3S1358 do cromossomo 3, ou seja, ele é tipado como 4/6. Como os alelos são diferentes (4 e 6 repetições), diz-se que o indivíduo é heterocigoto neste locus cromossomal.

Para realizar um teste de paternidade para um indivíduo, é necessário analisar as mesmas regiões STR presentes nos DNAs da mãe e do suposto pai. O teste consiste em determinar os números de repetições de determinados STR nos três indivíduos e rela-

**Figura 1.**

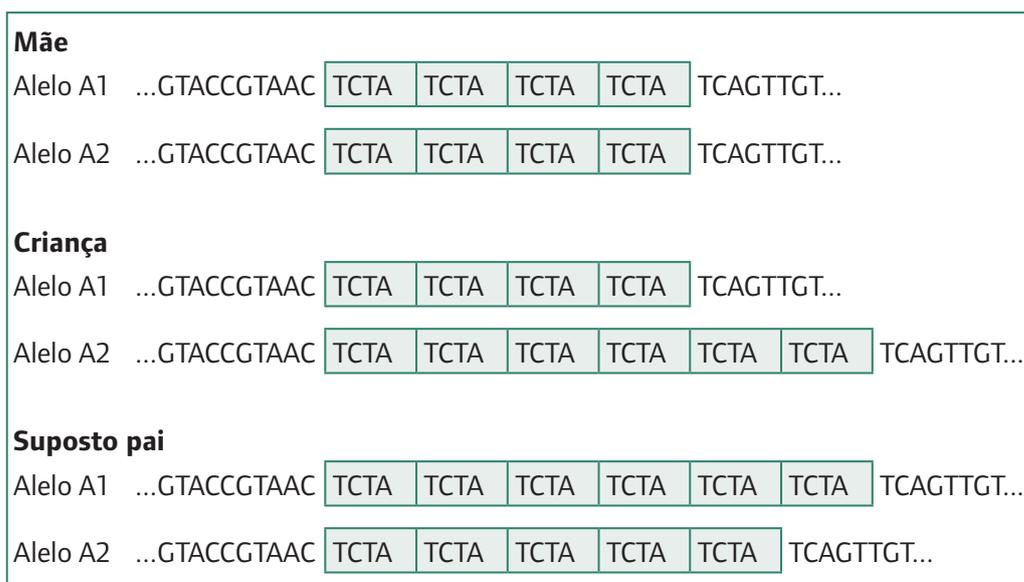
Exemplo de sequência repetitiva do tipo microssatélite ou STR.

cioná-los. Dessa forma, determina-se o alelo proveniente da mãe e o alelo proveniente do pai. Assim, para realizar um teste de paternidade para o indivíduo exemplificado acima, o qual será chamado de criança, analisa-se o mesmo STR D3S1358 do cromossomo 3 da mãe e do suposto pai, conforme ilustrado na Figura 2.

No exemplo, observa-se que a mãe possui dois alelos de 4 repetições (estado homocigoto – dois alelos iguais) e o suposto pai possui os alelos 5 e 6 (5 e 6 repetições, respectivamente - estado heterocigoto). Pode-se verificar que a criança (tipada com 4/6 – heterocigota), recebeu o alelo 4 da mãe. O alelo 6 é considerado, portanto, o alelo paterno. Como o suposto pai analisado possui este alelo (6), diz-se que houve inclusão de paternidade para o microssatélite D3S1358 do cromossomo 3.

A metodologia do teste de paternidade é constituída das seguintes etapas: 1- extração de DNA dos três indivíduos envolvidos no exame (suposto pai, criança e mãe); 2- amplificação, através da técnica PCR, das regiões microssatélites dos DNAs extraídos dos três indivíduos; 3- eletroforese para tipagem dos alelos amplificados (através da separação por tamanho das moléculas e verificação do número de repetições dos alelos microssatélite).

Normalmente, são analisadas pelo menos 10 regiões STR ou microssatélites como critério para conclusão do teste de paternidade. No caso de exclusão, verifica-se se não há relação entre os alelos paternos da criança com os do suposto pai em pelo menos três regiões analisadas. No caso de inclusão, verifica-se a relação entre os alelos paternos da criança com os do suposto pai em todas as regiões analisadas.

**Figura 2.**

Exemplo de análise do STR D3S1358 em um suposto teste de paternidade (inclusão de paternidade).

MATERIAL DIDÁTICO: TESTE DE PATERNIDADE DO TRIÂNGULO AMOROSO EM *DOM CASMURRO*

O primeiro passo para se realizar um teste de paternidade é a extração de DNA a partir do sangue ou outra amostra biológica da mãe, da criança e do suposto pai. Neste estudo, as amostras biológicas dos indivíduos serão substituídas por frutas. Em seguida, o DNA das regiões microssatélite dos três indivíduos deve ser tipado, isto é, verifica-se o número de repetições de cada um dos microssatélites destes indivíduos para determinar se eles se relacionam geneticamente. Com o objetivo de isolar e multiplicar estas sequências-alvo, utiliza-se a técnica PCR. O PCR ou reação em cadeia da polimerase (*polymerase chain reaction*) é um método de amplificação (de criação de múltiplas cópias) do DNA. É uma técnica bastante eficiente, tornada popular a partir da década de 90, que substituiu o método antigo de clonagem em bactérias, como a *Escherichia coli*, para a obtenção de grandes quantidades de um determinado trecho de DNA. A reação nada mais é do que a simulação da síntese ou replicação de DNA normalmente realizada nas células.

Através deste material didático, os alunos manipulam um protótipo de termociclador. O professor deverá explicar as reações que ocorrem durante a alternância de temperatura. Em seguida, o DNA das regiões microssatélite ou STR, amplificadas em reações de PCR, são separadas por tamanho através de corrida eletroforética para a identificação dos alelos. Com este material didático, os alunos podem realizar a corrida eletroforética, em uma cuba artesanal, com gel de maisena. Corantes são utilizados como análogos às amostras correspondentes aos indivíduos analisados (Capitu, Ezequiel e Bentinho). Por último, os alunos manipulam peças-bloco “STR” para realizar diferentes combinações entre os indivíduos para os casos de inclusão ou exclusão de paternidade.

Desta forma, o material didático compreende as seguintes propostas de atividades:

- ♦ Extração de DNA a partir de frutas;

- ♦ Manipulação de um protótipo de termociclador;
- ♦ Eletroforese em gel de maisena para separar corantes (que representam os indivíduos mãe - Capitu, criança - Ezequiel e suposto pai - Bentinho) cujas cores se relacionarão com os alelos das regiões de DNA analisadas em teste de paternidade (microssatélites);
- ♦ Manipulação de peças que representam os microssatélites nos três indivíduos analisados (Capitu, Ezequiel e Bentinho) para visualizar os casos de inclusão ou exclusão de paternidade.

Para cada uma das atividades, demonstramos o objetivo dentro do contexto de teste de paternidade, assim como o conteúdo de genética subjacente às técnicas de biologia molecular.

1- Extração de DNA de frutas

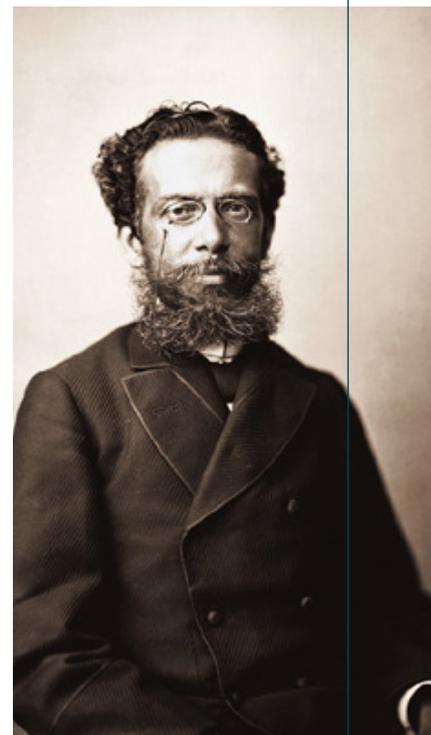
Nesta prática, demonstramos a extração de DNA a partir de frutas. O princípio é o mesmo e os reagentes são similares aos utilizados na extração de DNA a partir de sangue de indivíduos que são submetidos a um teste de paternidade.

Materiais

- ♦ Uma banana pequena
- ♦ Água, de preferência filtrada (100 ml)
- ♦ Copo de medidas (500 ml)
- ♦ Álcool etílico (100 ml)
- ♦ Copo de plástico
- ♦ Copo de vidro
- ♦ Socador
- ♦ Peneira
- ♦ Sal de cozinha (10 g)
- ♦ Detergente de cozinha neutro (20 ml)
- ♦ Espátula de madeira

Procedimento

- ♦ Macerar a banana, no copo de plástico com o socador, até formar uma pasta;
- ♦ No copo de medidas, adicionar a água, o sal e o detergente. Misturar com a espátula de madeira até homogeneizar a solução;



- ♦ Acrescentar a solução à pasta de banana no copo de plástico;
- ♦ Misturar com a espátula de madeira até homogeneizar;
- ♦ Colocar a peneira sobre o copo de vidro;
- ♦ Coar toda a mistura, mexendo com a espátula de madeira;
- ♦ Retirar a peneira e adicionar o álcool lentamente pela parede do copo.
- ♦ Tendo sido feitos tais procedimentos, ocorrerá o agrupamento das moléculas de DNA (sair da solução), permitindo a visualização como filamentos.

Para esta etapa, espera-se que os alunos compreendam que as características químicas das células e das moléculas de DNA são levadas em consideração ao se escolher os reagentes para a extração. O detergente é responsável por “dissolver” a membrana da célula, composta por lipídeos. O sal atua na neutralização da carga negativa do DNA (o sódio do sal - NaCl - interage com os grupos fosfato do DNA), o que conseqüentemente diminui a hidrofília do DNA. A adição de álcool favorece ainda mais a “insolubilidade” do DNA no meio aquoso, provocando a precipitação do mesmo (o DNA sai de solução na presença de sal e álcool).

Quando estes reagentes são misturados às frutas amassadas, a membrana celular rom-

pe-se e todo o conteúdo da célula é liberado. Ao se adicionar o sal e o álcool à mistura, ocorre a precipitação das moléculas de DNA, formando um “aglomerado” esbranquiçado.

No laboratório, utilizam-se reagentes análogos aos citados acima para o rompimento da membrana e liberação do conteúdo celular. Além disso, em fases adicionais, é realizada a purificação do DNA. Por exemplo, ao se adicionar fenol, as proteínas serão desnaturadas e precipitadas. Com esta etapa, a solução de DNA é liberada das proteínas.

2-Amplificação do DNA: protótipo de termociclador

Utiliza-se o protótipo de termociclador (Figura 3) para demonstrar como funciona o aparelho e quais as funções exercidas pelo mesmo para que ocorra a amplificação do DNA (neste caso, ocorre a amplificação das regiões STR) através da técnica de reação em cadeia da polimerase ou PCR. O protótipo é construído em uma caixa de ponteiras ou caixa plástica de aproximadamente 12 x 8,0 x 4,0 cm, sobre a qual é acoplada uma tampa plástica esculpida para o encaixe de 12 tubos do tipo Eppendorf, botão e três micro-lâmpadas de luz LED nas cores vermelho, amarelo e verde. O sistema está ligado a um porta-pilhas contendo duas pilhas pequenas no interior da caixa.



Figura 3.

Protótipo do aparelho termociclador. A luz vermelha acesa indicaria a fase de desnaturação, a luz verde acesa indicaria a fase de anelamento, e a luz amarela acesa indicaria a fase de extensão.

Para esta etapa, o professor deve explicar, anteriormente, como ocorre a síntese de DNA, naturalmente, nas células. O professor deve, principalmente, mostrar a dinâmica de ação da enzima DNA polimerase ao adicionar os nucleotídeos homólogos (A-T; C-G), à nova fita de DNA, tendo como base a fita de DNA molde.

A reação de PCR é realizada em um termociclador, aparelho que alterna temperatura nas três fases sequenciais da técnica: desnaturação do DNA, anelamento dos iniciadores de síntese ao DNA e extensão da síntese de DNA. Durante a etapa de desnaturação, a 90 °C, a fita dupla do DNA molde é separada. Devido à alta temperatura, as pontes de hidrogênio que mantêm pareadas as bases nitrogenadas, são rompidas.

Na fase seguinte, em que o termociclador é resfriado, ocorre o anelamento ou emparelhamento entre o DNA iniciador (primer) e a região do DNA molde a ser sintetizada e replicada. Esta etapa é realizada com temperaturas entre 60 °C e 65 °C. O DNA iniciador ou primer é constituído de uma fita simples de DNA de aproximadamente 15 nucleotídeos. Os iniciadores funcionam como uma espécie de “marcador”, sinalizando a região do DNA a ser amplificada. Além do mais, o DNA iniciador é o “suporte” para a enzima DNA polimerase iniciar a síntese de DNA.

Por fim, o termociclador é aquecido novamente para alcançar a temperatura de 72 °C. Esta é a temperatura ótima para a ação da enzima DNA polimerase na etapa de extensão. Nesta fase, a enzima fará a síntese de DNA, utilizando nucleotídeos, através da extensão a partir da fita iniciadora ou primer. É importante ressaltar que, como qualquer proteína, a enzima DNA polimerase não poderia suportar temperaturas tão elevadas sem ser inativada definitivamente (ou desnaturada). Por isso, a reação de PCR é realizada com uma enzima especial, a *Taq* polimerase, a qual é purificada de um organismo adaptado à temperaturas extremas, o *Thermus aquaticus*.

As três fases do PCR são realizadas sequencialmente, ou seja, após a extensão, novo ciclo de desnaturação, anelamento e exten-

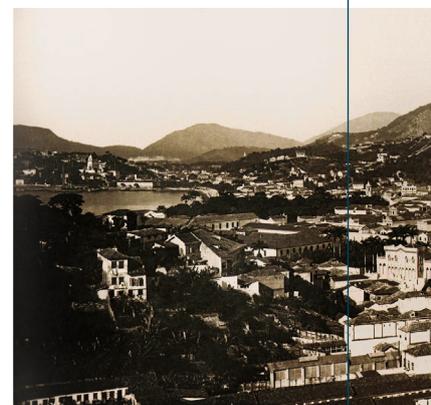
são é iniciado. Normalmente, são realizados entre 30 a 40 ciclos de reação de PCR para se obter uma quantidade razoável de DNA amplificado. A Figura 4 esquematiza as fases da reação de PCR para amplificação do DNA.

Ressalta-se que, a partir dos iniciadores, são sintetizadas e, conseqüentemente, amplificadas, as regiões STR do DNA. Em um teste de paternidade, normalmente são amplificadas 16 regiões (ou locos) STR simultaneamente, ou seja, numa única reação de PCR, são adicionados 16 iniciadores (ou primers) que promoverão o início da síntese de 16 locos STR para cada indivíduo analisado.

3 - Eletroforese

Nesta prática, simulamos a separação do DNA (alelos de regiões STR amplificados anteriormente, na técnica PCR) por tamanho, em uma eletroforese, utilizando corantes (do tipo anilina comestível, por exemplo, da marca Mago ou Arcolor). Os indivíduos envolvidos no teste de paternidade constituem as seguintes amostras: mãe (Capitu), representada pela cor vermelha; suposto pai (Bentinho) representado pela cor azul; criança (Ezequiel), representada pelas cores azul e vermelha. Após a eletroforese, serão observadas as bandas no gel, as quais corresponderiam aos DNAs (regiões STR) amplificados pela técnica PCR.

O professor pode explorar, a partir desta etapa do teste de paternidade, os aspectos físico-químicos da eletroforese. A eletroforese é uma técnica útil para separação de moléculas por tamanho e/ou carga. As amostras são aplicadas em uma das extremidades de um gel. As moléculas movem-se em direção ao pólo oposto, devido à diferença de potencial criada pela corrente elétrica, em solução tampão (soluções que atenuam a variação dos valores de pH, mantendo-os aproximadamente constantes). As moléculas de DNA apresentam carga geral negativa (devido ao grupamento fosfato) e, portanto, são atraídas para o pólo positivo da cuba eletroforética. À medida que as moléculas se deslocam no gel, são separadas de acordo com o tamanho. Assim, as menores moléculas, tendo mais facilidade em atravessar a trama do gel, correm mais rápido do que as moléculas maiores.



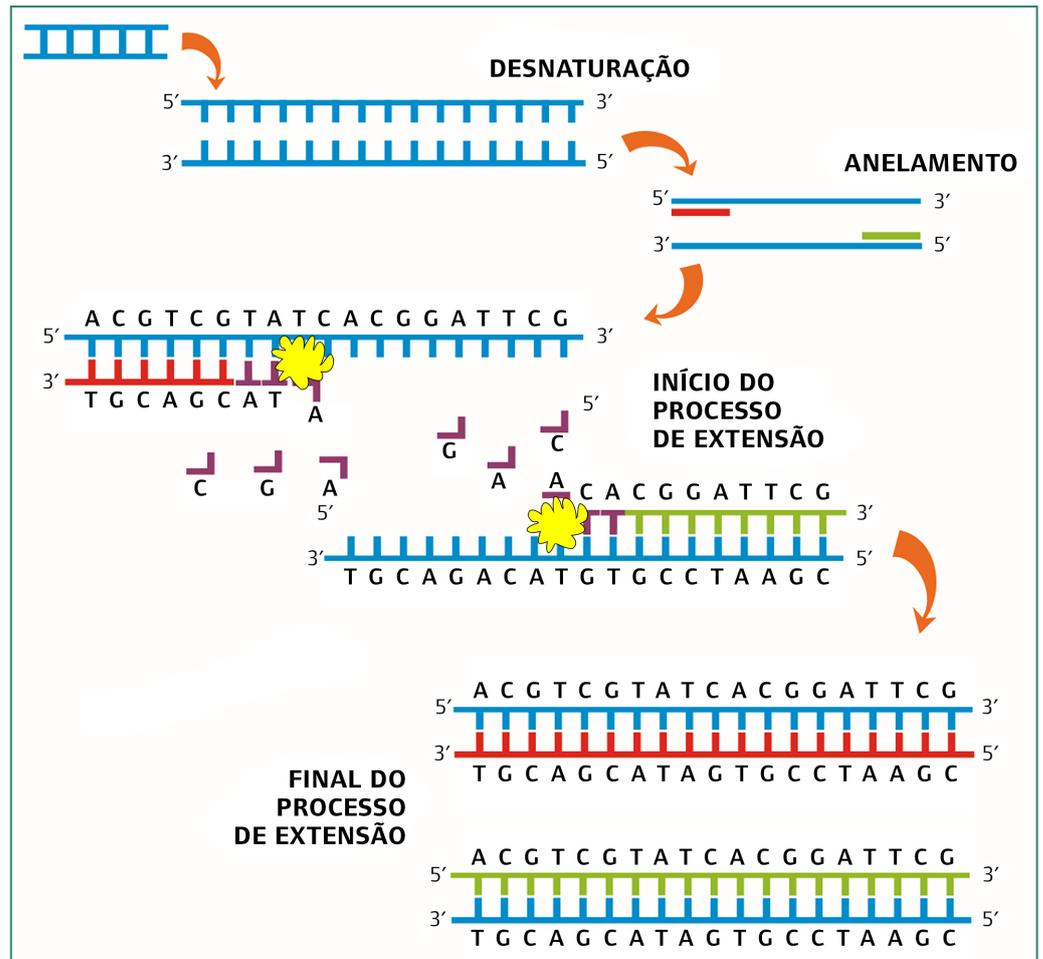
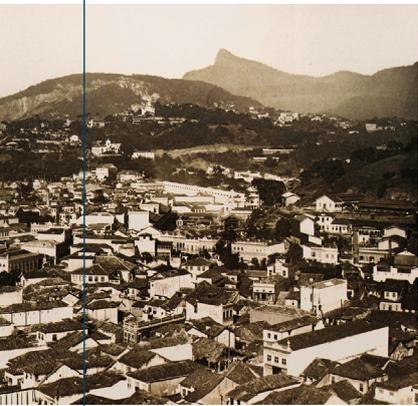


Figura 4.

A reação de PCR é realizada através de ciclos de temperatura que se alternam nas fases de desnaturação, anelamento e extensão. Os primers senso (anelado à fita molde 5' → 3') e antisense (anelado à fita molde 3' → 5') estão representados em vermelho e verde, respectivamente. As fitas em azul representam o DNA molde. A bola amarela representa a enzima DNA polimerase e os nucleotídeos livres estão representados em roxo. (Ilustração Gina Arêdes).

A - Preparo do molde

Materiais

- ♦ Molde para gel (caixa de ponteiras ou caixa plástica de aproximadamente 12 x 8,0 x 4,0 cm)

adaptada com os plugs de eletrodos e corda de violão)

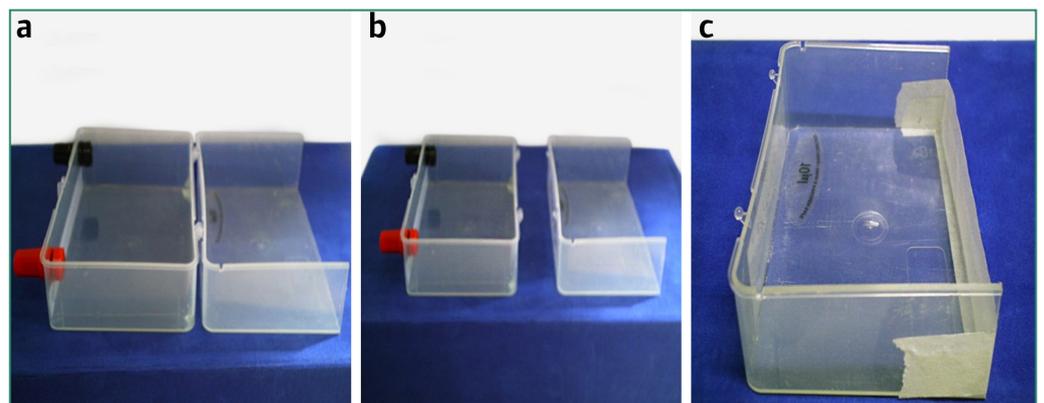
- ♦ Fita crepe

Procedimento

- ♦ Desacoplar o molde da cuba de eletroforese;
- ♦ Vedar a parte traseira com a fita crepe, conforme mostra a Figura 5.

Figura 5.

Molde para fabricação do gel. a) Molde acoplado à cuba eletroforética; b) Molde desacoplado; c) Molde vedado com a fita crepe.

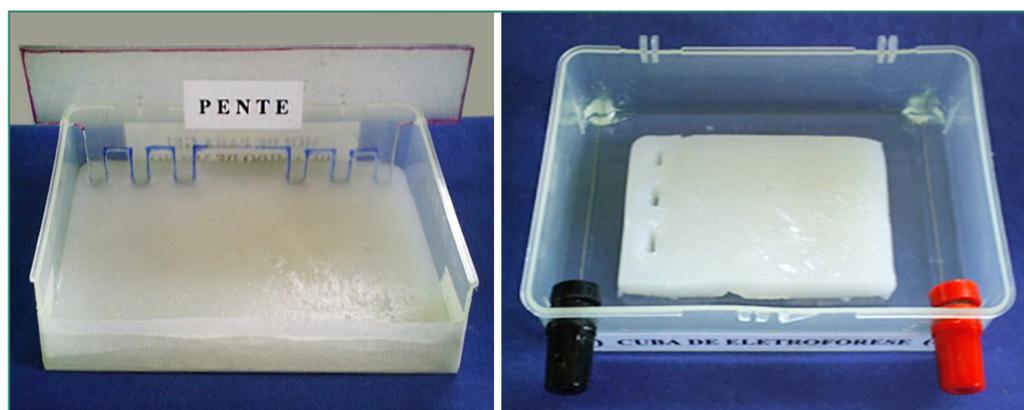
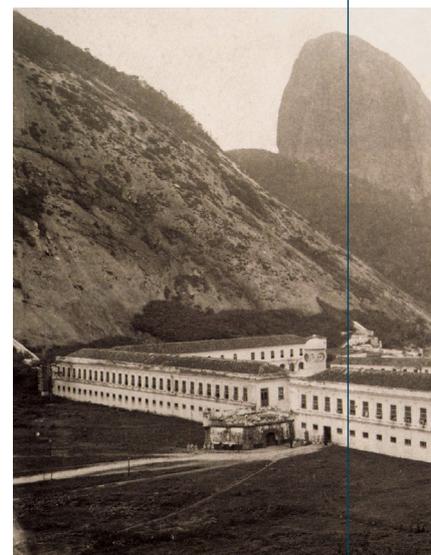


B - Preparo do gel de maisena a 10%**Materiais**

- ✦ Maisena (10 gramas)
- ✦ Tampão de eletroforese (100 ml - composta de uma mistura de água boricada a 0,2% e bicarbonato de sódio a 1%)
- ✦ Copo de vidro
- ✦ Espátula de madeira
- ✦ Molde vedado com fita crepe
- ✦ Pente (régua de plástico cortada em formato de dentes)
- ✦ Microondas

Procedimento

- ✦ No copo de vidro, misturar a maisena e a solução tampão de eletroforese com a espátula de madeira;
- ✦ Levar o copo de vidro ao microondas para aquecer a solução;
- ✦ Retirar o copo do microondas antes que a solução entorne;
- ✦ Mexer o gel com a espátula, rapidamente, até homogeneizar;
- ✦ Repetir as etapas 2, 3 e 4;
- ✦ Despejar rapidamente o gel no molde e encaixar o pente para a formação dos poços de aplicação de amostras (Figura 6).

**C - Corrida eletroforética****Materiais**

- ✦ Molde contendo o gel de maisena
- ✦ Tampão de eletroforese (100 ml)
- ✦ Cuba de eletroforese
- ✦ Amostras (corantes misturados com glicerina em proporção de 50%-50%) representando o suposto pai, a mãe e a criança (Bentinho, Capitu e Ezequiel, respectivamente)
- ✦ Pipeta (seringa de insulina, adaptada)
- ✦ Tomada de ligação elétrica
- ✦ Copo de vidro

Procedimento

- ✦ Retirar o pente do gel e colocá-lo no centro da cuba de eletroforese (Figura 6),

com os poços voltados para o lado do pólo negativo (eletrodo preto). Sobre o gel de maisena, adicionar 100 ml da solução tampão de eletroforese;

- ✦ Com a pipeta, encher os poços até a metade com as amostras: suposto pai (Bentinho/cor azul) no lado direito; criança (Ezequiel/cores azul e vermelha) no centro e mãe (Capitu/cor vermelha) no lado esquerdo;
- ✦ Os plugs devem ser conectados às suas cores correspondentes (preto - pólo negativo e vermelho - pólo positivo). Ligar a cuba de eletroforese (110V) utilizando a tomada de ligação elétrica;
- ✦ Após a separação dos corantes por 5 a 10 minutos, desligar a cuba da tomada e descartar a solução tampão;

Figura 6.

Gel de maisena contendo o pente para a formação dos poços de aplicação de amostras (esquerda) e gel de maisena alocado no centro da cuba de eletroforese (direita), após a retirada do pente, com os poços voltados para o lado do pólo negativo (eletrodo preto).



CUIDADO: não colocar a mão na cuba durante a corrida eletroforética (passagem de corrente elétrica);

- ♦ Retirar o gel e apoiá-lo em uma superfície seca com a sua face inferior para cima;
- ♦ Em seguida, observar as bandas no gel, as quais corresponderiam aos DNAs amplificados (regiões STR ou microsatélite) pela técnica PCR.

Através desta prática, mostramos como ocorre a separação, por tamanho, dos alelos

amplificados num teste de paternidade (alelos do tipo microsatélite ou STR). Desta forma, representamos aqui a corrida eletroforética dos alelos amplificados a partir de uma região ou locus STR, para três indivíduos. No laboratório, como é realizada a amplificação de diferentes loci STR simultaneamente, adaptações são realizadas para que os vários alelos sejam visualizados no gel sem sobreposição.

Na Figura 7, visualização do aspecto do gel ao final da corrida eletroforética.

Bentinho Ezequiel Capitu

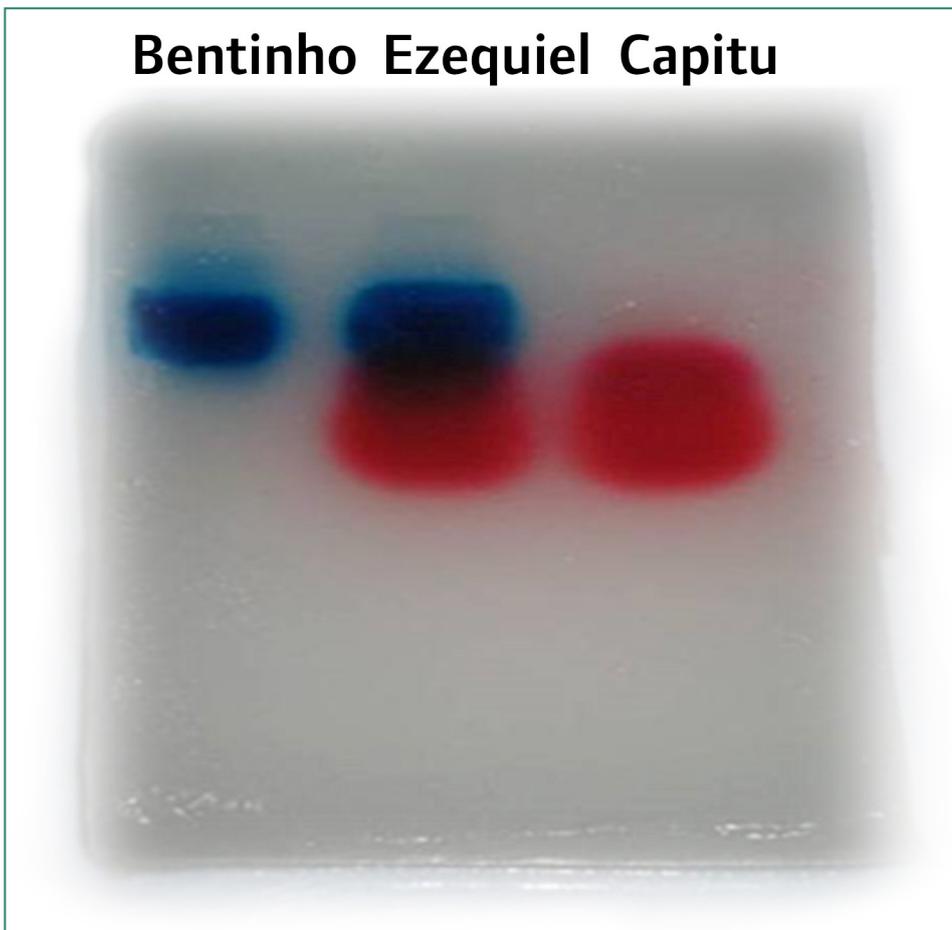


Figura 7.

Gel de maisena após a corrida eletroforética.

Fazendo uma analogia com a tipagem de uma região microsatélite no DNA, podemos dizer que: a mãe (Capitu) é homocigota (2 alelos iguais: vermelho); o suposto pai (Bentinho) também é homocigoto (2 alelos iguais: azul); a criança (Ezequiel) é heterocigota (2 alelos diferentes: azul e vermelho). Ressalta-se que tanto Capitu como Bentinho têm dois alelos do mesmo tamanho, por isso, só se observa uma banda no gel (duas bandas sobrepostas) para estas amos-

tras. Pode-se exemplificar o alelo vermelho como sendo de 5 repetições de um dado STR e o alelo azul como sendo de 6 repetições deste mesmo STR. O alelo 5, sendo menor, correu mais rápido do que o alelo 6 (considerando-se que as amostras foram aplicadas na parte superior do gel). Ezequiel teria recebido o alelo 5 de Capitu e o alelo 6 de Bentinho, caracterizando, assim, a inclusão de paternidade para esta região analisada do DNA.

Para que Bentinho seja considerado o pai biológico de Ezequiel, é importante lembrar que várias outras regiões STR do DNA (pelo menos 10) devem ainda ser analisadas.

Ainda, em uma variação da prática, a amostra correspondente ao melhor amigo de Bentinho, o personagem Escobar, também pode ser analisada. Assim, a amostra seria constituída de uma mistura de corantes diferentes dos utilizados para os outros indivíduos para caracterizar a exclusão de paternidade.

Dessa forma, ao “realizar” o teste de paternidade em indivíduos fictícios, mostramos o princípio mais fundamental da lei de Mendel, que se aplica a todos os organismos de reprodução sexuada. A partir das experiências e dos estudos relativos a elas espera-se que os alunos não só compreendam o conceito de alelo, como tracem um paralelo entre os alelos-alvo de análise num teste de paternidade (regiões não codificantes do DNA) e os alelos das ervilhas (regiões codificantes do DNA) estudados por Mendel.

Cada descendente possui um fator vindo de um progenitor, e um segundo vindo do outro progenitor. Mendel mostrou, ao trabalhar com ervilhas, que os fatores (aqui denominados alelos) relativos a determina-

dos caracteres, da geração parental, não se misturam para dar origem a formas intermediárias (conforme pensava Darwin) nos descendentes. Ou seja, os alelos são transmitidos, intactos, para a geração seguinte a partir dos progenitores. Os alelos de 5 e 6 repetições do STR (ou vermelho e azul) de Capitu e Bentinho são os mesmos alelos presentes na amostra de Ezequiel. Da mesma forma, os alelos para as cores verde e amarela das ervilhas não se misturam nem se perdem, eles são passados integralmente, a partir dos progenitores, para a geração seguinte. O alelo que caracteriza a cor verde da ervilha não foi expresso na primeira geração, embora estivesse presente. A prova de que esse alelo estava presente foi obtida ao se realizar o auto cruzamento da geração F1. Na geração F2, o alelo que caracteriza a cor verde não só estava presente, como expressou o fenótipo verde. Por isso, Mendel denominou o alelo que caracterizava a cor amarela de dominante e o alelo que caracterizava a cor verde, de recessivo. Como os alelos STR não estão associados à expressão gênica, não tratamos aqui do processo de dominância ou recessividade verificado por Mendel nos caracteres analisados nas ervilhas.

LAGO, Pedro Correa do. Coleção Princesa Isabel: Fotografia do século XIX. Capivara, 2008.



4 - Tipagem de DNA

Com a manipulação dos “blocos de microssatélites”, é possível compreender a dinâmica da determinação de vínculo genético entre indivíduos. Os alunos poderão utilizar os blocos para, por exemplo, representar a análise de indivíduos homo-

zigotos ou heterozigotos em uma inclusão ou exclusão de paternidade. A Figura 8 apresenta uma situação de inclusão de paternidade, tendo a criança recebido o alelo de duas repetições do microssatélite TCTA da mãe e o alelo de três repetições, do suposto pai.

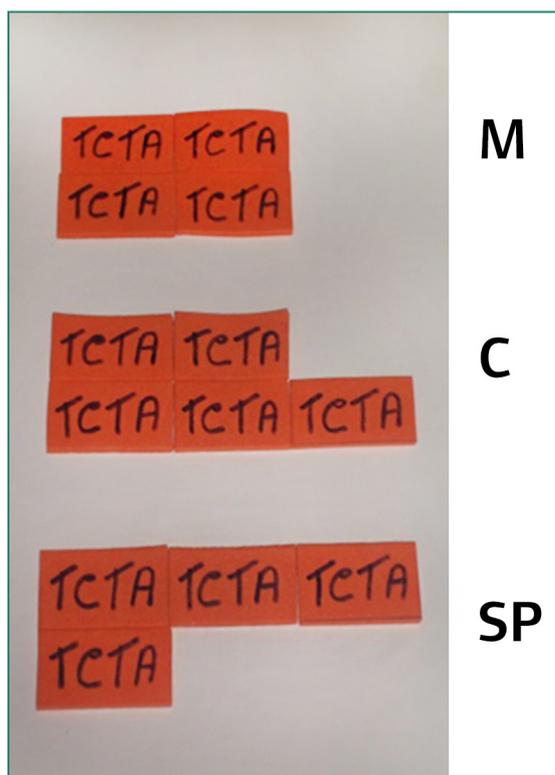


Figura 8.

Representação da utilização dos blocos de microssatélites em uma situação de inclusão de paternidade. M: mãe; C: criança; SP: suposto pai.

PARA SABER MAIS

MARANO, L. A.; SIMÕES, A. L.; OLIVEIRA, S. F.; MENDES-JUNIOR, C. T. Polimorfismos genéticos e identificação humana: o DNA como prova forense. *Genética na Escola* v. 05, n. 01, p. 53-56, 2010.

OLIVEIRA, F. B.; SILVEIRA, R. M. V. O teste de DNA na sala de aula: é possível ensinar biologia a partir de temas atuais? *Genética na Escola* v. 05, n.01, p.01-04, 2010.

SOUZA, R. F. Uma simulação de teste de paternidade: quem é o pai do bezerro? *Genética na Escola* v. 06, n. 01, p. 04-08, 2011.

CAMPOS, C. K. P.; SIQUEIRA, M. N.; BORGES, J. P.; RODRIGUES, L. A.; OLIVEIRA, J. S.; ROSA, M. A.; NEVES, A. F. Exames de paternidade pelo DNA: uma metodologia para ensino da genética molecular. *Genética na Escola* v. 05, n. 02, p. 07-13, 2010.

BONETTI, A. M.; VIEIRA, C. U.; SIQUEIROLI, A. C. S. Amplificação de DNA (simulação de polymerase chain reaction – PCR) Atividade para sala de aula. *Genética na Escola* v. 01, n. 02, p. 63-65, 2006.