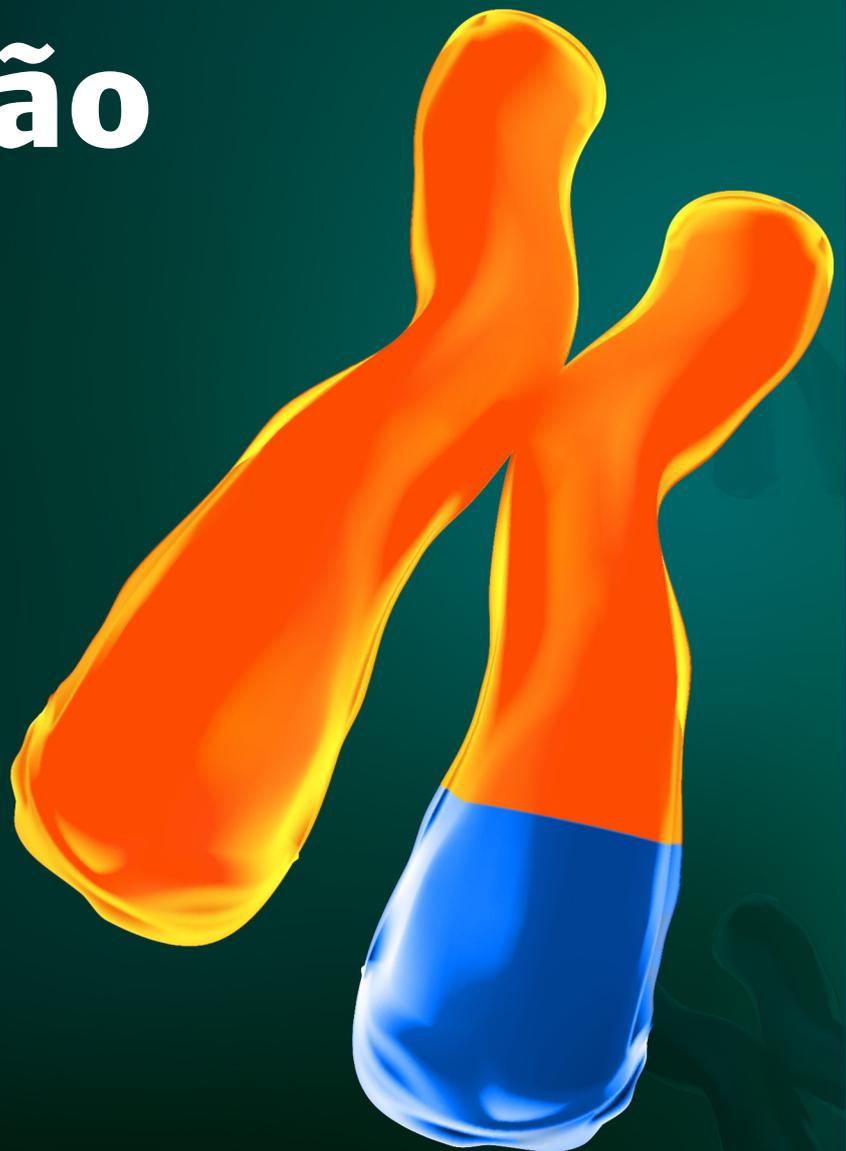


# Modelo tridimensional para o ensino da divisão celular



**Sônia Aparecida Santiago, Hernandes Faustino de Carvalho**

Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Biologia, Departamento de Biologia Celular, Campinas, SP

Autor para correspondência - [sonia.santiago3651@gmail.com](mailto:sonia.santiago3651@gmail.com)

**Palavras-chave:** meiose, cromossomos, crossing-over, ensino-aprendizagem, ferramentas de ensino, jogos educacionais



Cientes das dificuldades encontradas no aprendizado da meiose e procurando melhorar as condições de ensino, desenvolvemos uma prática pedagógica voltada para auxiliar na compreensão de algumas etapas da meiose. Foi desenvolvido um modelo tridimensional para o ensino da divisão celular que permitisse o desenvolvimento desse processo de forma visual e manipulável a fim de que os estudantes tivessem a possibilidade de participarem mais eficientemente e esclarecessem com mais propriedade as questões a respeito do processo básico da formação dos gametas. O modelo tridimensional para o ensino simula a duplicação do DNA e as fases da meiose e permite amplas discussões e associações com assuntos relacionados ao tema de modo reflexivo e crítico.

## MODELO – CROMOSSOMOS PERMUTA

A estratégia de ensino baseia-se em uma ferramenta pedagógica de ensino-aprendizagem que foi denominada “cromossomos-permuta” e consiste de pares de cromossomos desmontáveis com coloração diferenciada (Figura 1), que deverão estimular o aluno a entender a replicação do DNA e o comportamento dos cromossomos homólogos e de suas partes durante a permuta. Cada conjunto é composto por quatro cromossomos manipuláveis com peças desmontáveis, com o propósito de aproximar o aluno do conteúdo estudado.

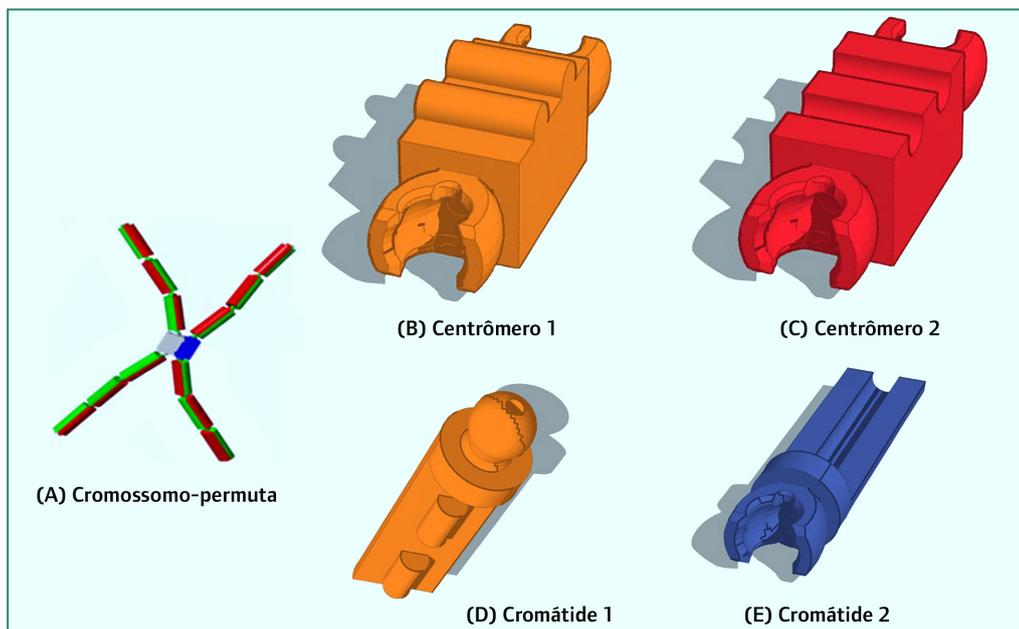
O modelo proposto será construído por impressão 3D, disponibilizado em formato **STL**, com 70% a 100% de preenchimento interno e com material termoplástico PLA, que é um plástico derivado do amido de milho e um dos mais comumente utilizados na impressão 3D. Essas especificações são necessárias para proporcionar a resistência

do produto, uma vez que será manipulado diversas vezes.

O modelo cromossomos-permuta conta com o desenvolvimento de quatro peças como especificado no quadro 1, com quatro colorações dando amplo acesso de uso e facilidade no encaixe das peças (Figura 1). Um aspecto relevante neste modelo está no fato de ser todo articulado. As cores podem ser alteradas de acordo com a preferência ou disponibilidade no momento da impressão. Um detalhe que deve ser observado com relação às cores são as quatro tonalidades que se fazem necessárias para caracterizar a duplicação do DNA. O desenho técnico foi desenvolvido com critérios de mobilidade e está disponível em: <<https://www.tinkercad.com/things/6D9J0RetVw2-centromero-m>>, <<https://www.tinkercad.com/things/ePWOy9FfrIg-centromero-f>>, <<https://www.tinkercad.com/things/hygueHTc9G-6-cromatide-m>> e <<https://www.tinkercad.com/things/4Bvp9Hfz9tG-cromatide-f>>.

### Arquivos STL -

também disponíveis em:  
**1-centrômero-f** - <https://drive.google.com/file/d/1694xPzclD84UnSn-ogW5cFFb8yB5lb00/view?usp=sharing> ;  
**1-cromátide-f** - [https://drive.google.com/file/d/16K2IjnES6DRZrAM\\_cUbvUKXAusOIMc8S/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/16K2IjnES6DRZrAM_cUbvUKXAusOIMc8S/view?usp=sharing) ;  
**2-centrômero-m** - <https://drive.google.com/file/d/16NTSsf4uCm7rJZXrGQ8NiuOWZOzkRvDu/view?usp=sharing> ;  
**2-cromátide-m** - <https://drive.google.com/open?id=16RUH92FFT-MS1C2yLTq-l2N1sYfaW50P> .



Com a quantidade de peças do quadro 1 será possível simular a duplicação do DNA, bem como o *crossing over* da meiose. Os custos com a impressão 3D são acessíveis, a precificação pode variar de acordo com a região; uma média de preço por peça está ao redor de R\$ 13,00.

Na figura 2 estão expostos os desenhos técnicos de cada peça com suas especificações

de tamanho, no entanto, o tamanho pode ser alterado de acordo com a preferência do público.

Para possibilitar a aplicação de uma ferramenta de ensino com aspectos viáveis, é necessário um protocolo de aplicação que sirva de orientação para os professores e alunos: juntamente com o modelo de cromossomos-permuta, é fornecido um roteiro de como utilizá-lo em

### Figura 1.

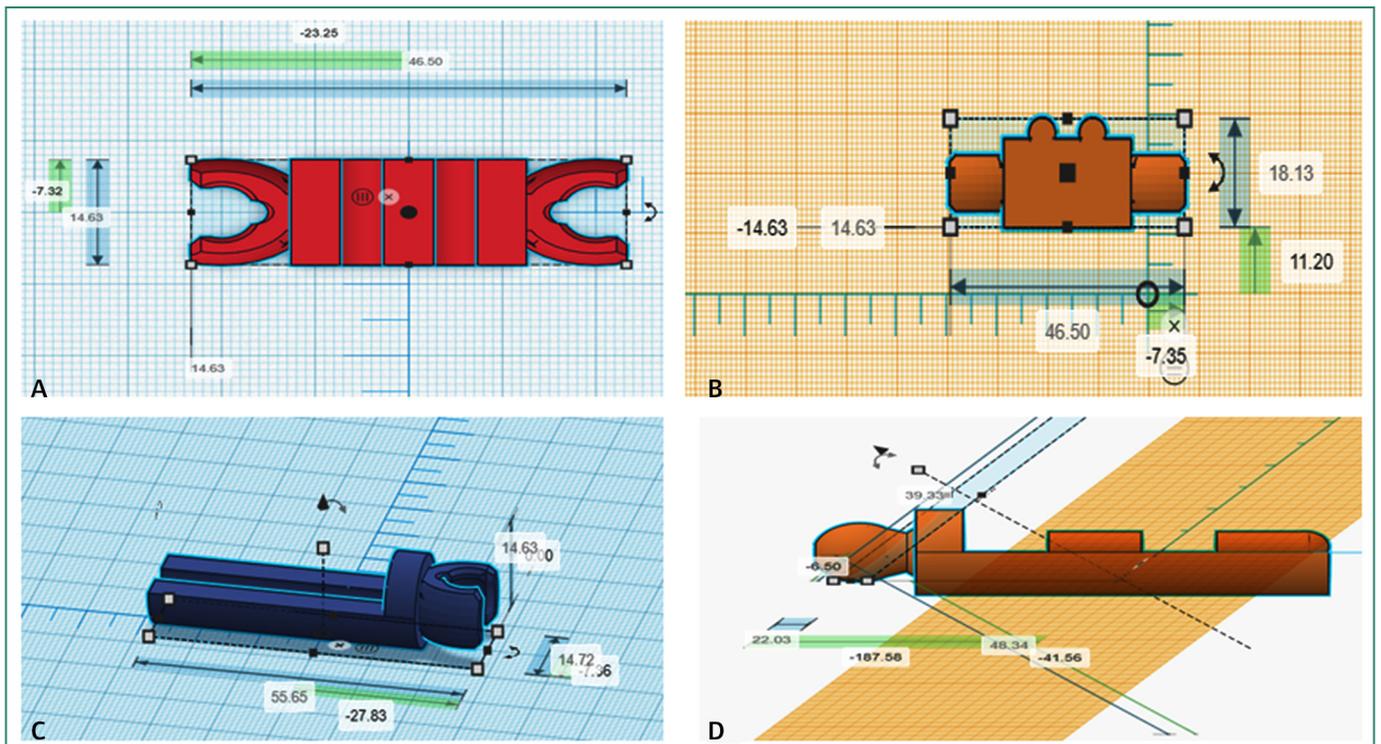
(A) Visão panorâmica da ferramenta cromossomo-permuta; (B) Peça do cromossomo – Centrômero; (C) Peça do cromossomo – Centrômero; (D) Peça: Parte do braço do cromossomo; (E) Peça: Parte de encaixe para compor o braço do cromossomo-permuta.

**Quadro 1.**  
Especificações das peças para impressão 3D.

Peças	Quantidades	Exemplo - Cor
Cromátide 1	16	Verde escuro
Cromátide 2	16	Verde claro
Cromátide 1	16	Azul escuro
Cromátide 2	16	Azul claro
Centrômero 1	8	Preto
Centrômero 2	8	Preto

aula. O Kit cromossomos-permuta é composto por: protocolo orientativo; cartaz ilustrado de estímulo para auxiliar na compreensão da manipulação; roteiro de aplicação e questões a

serem respondidas ao final da simulação. Na figura 3, está a imagem do cartaz; no quadro 2, o roteiro de aplicação; no quadro 3, sugestões de perguntas a serem aplicadas.



**Figura 2.**  
Especificações do Desenho Técnico. Fonte: Desenho Técnico adaptado por Luciano Vieira Koenigkan – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) Campinas-SP.

A manipulação do modelo terá dois momentos de utilização (Figura 4), sendo a primeira com destaque para a duplicação do DNA e, a segunda, para a exemplificação da permuta (*crossing over*). E, após o uso do modelo, mais uma etapa será necessária configurando três etapas; algumas questões poderão ser

propostas pelo professor pois estimularão o aluno na consolidação das ações efetuadas no modelo. As três etapas deverão ter um tempo definido para acontecerem e, de preferência, deve-se solicitar aos alunos que estudem sobre o conteúdo de meiose antes da aula na qual manipularão o modelo.

## FERRAMENTA DE ENSINO

## CROMOSSOMOS-PERMUTA



O jogo de conhecimento simula as fases da meiose, com peças coloridas, chamadas de cromossomos-permuta.



Está à disposição pares de cromossomos, para simular alguns dos fenômenos da meiose.

Que tal começar com a profase I.

Use as peças, simule a fase e anote os aspectos dela e qual a razão do resultado.



Ao final da simulação, poderão ser testados os conhecimentos a respeito e confirmar o aprendizado, respondendo a um questionário.



Depois de simular, testar e aprender, você está pronto para aplicar os conhecimentos sobre meiose.



E para ajudar neste desafio, deve ser verificado o exemplo abaixo, lembrando que é apenas um exemplo, e outras situações poderão ser criadas. O mesmo deverá ser feito com as peças coloridas, não esquecendo de relatar o que está sendo simulado.



Boa sorte nos estudos!

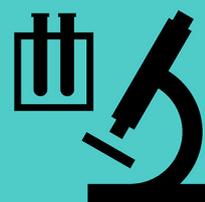
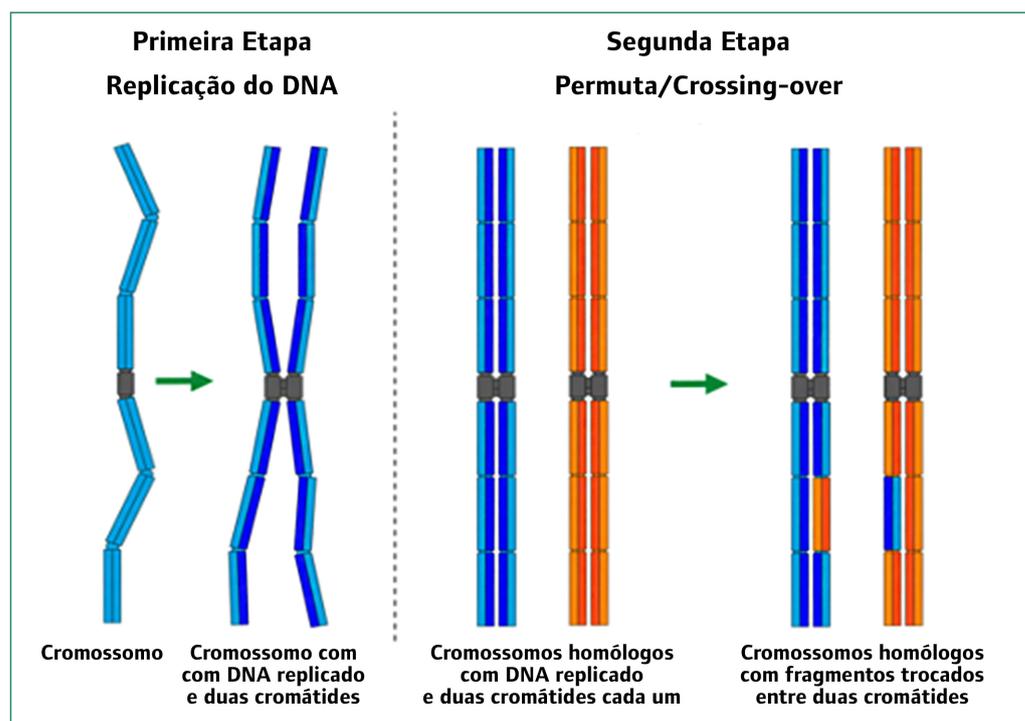


Figura 3.  
Cartaz Ilustrado.

**Quadro 2.**

Roteiro de aplicação.

Ações	Professor	Aluno	Tempo
1ª Etapa: Replicação do DNA (como sugerido na figura 4).	Dividir a turma de acordo com a quantidade total de alunos. Não permitir o uso de celulares. Entregar para cada grupo o kit de cromossomos-permuta. Explicar aos alunos que devem usar as peças para simular a replicação do DNA.	Montar grupos, não usar celular no momento da manipulação das peças do modelo.	Terão 10 minutos nesta primeira etapa.
2ª Etapa: <i>Crossing Over</i> Troca de diferentes segmentos das cromátides de dois cromossomos homólogos.	Manter os grupos, observar o andamento das etapas e, caso perceba a dificuldade dos alunos, auxiliar, mas sem ajudar na montagem.	Não usar celular no momento da manipulação das peças do modelo.	Terão 10 minutos nesta segunda etapa.
3ª Etapa Questões <sup>a</sup>	Aplicação de questões (junto ao kit de cromossomos seguem algumas sugestões de questões). Nesta etapa, o professor poderá pontuar/premiar os alunos caso ache necessário um estímulo pela participação concreta dos mesmos.	Os alunos deverão responder de forma escrita e um aluno, representando o grupo, deverá ler as respostas para a turma.	Para esta parte serão 20 minutos, sendo 10 para responderem e 10 para exporem para sala.

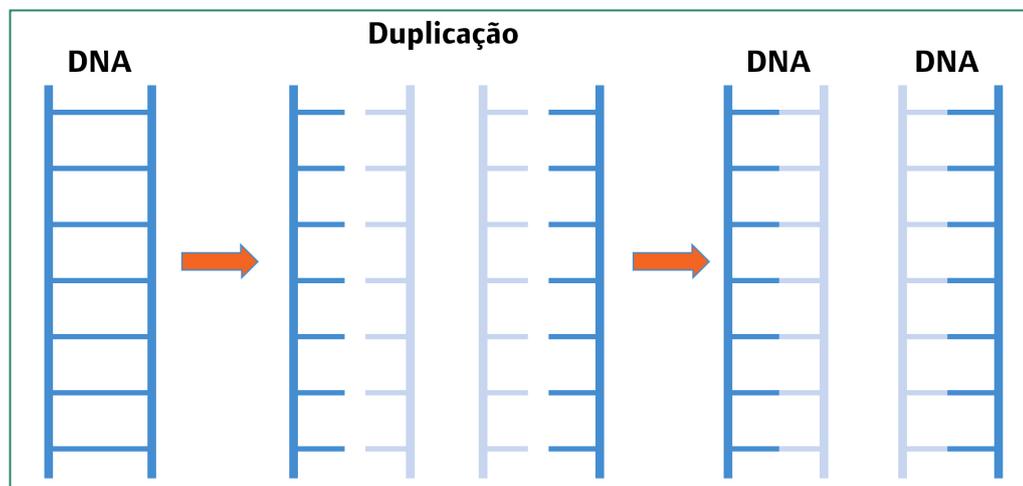


**Figura 4.**

As duas etapas da meiose a serem exploradas com o uso do material proposto. Na primeira, o aluno simula a replicação do DNA, gerando os cromossomos típicos da metáfase. Na segunda, o aluno troca diferentes segmentos das cromátides de dois cromossomos homólogos.

Para simular a duplicação de DNA, as figuras 4 e 5 exemplificam como usar o modelo de cromossomos-permuta em que as peças da mesma cor formam uma molécula de DNA,

e as peças de tonalidades mais claras demonstram a duplicação. No final, após a condensação, a molécula duplicada semiconservativa ficará caracterizada como cromossomo.



**Figura 5.**

Simulação de duplicação de DNA com o modelo Cromossomos-permuta.

Após a aplicação das etapas, o professor poderá estimular discussões sobre as questões respondidas ou sugerir outras situações de realidade profissional que envolvam o assunto. As ações que buscam resgatar o processo multifatorial da educação, seguem em direção

da construção do conhecimento e aprimoramento das habilidades, com destaque para o desenvolvimento dos relacionamentos, da cooperação, do conhecimento cognitivo, das habilidades práticas, das técnicas de estudo, da observação, da curiosidade e da reflexão.

**Quadro 3.**

Questões aplicadas após a simulação.

Perguntas	Alternativas	Respostas
<p>Um estudo demonstrou o comportamento meiótico e a viabilidade polínica em quatro acessos das espécies <i>Capsicum annuum</i> e <i>Capsicum baccatum</i>. Em todos os acessos, foram observados 12 bivalentes, confirmando o número e nível de ploidia relatados na literatura para essas espécies. Os resultados mostraram uma divisão celular normal, porém algumas anormalidades foram detectadas, tais como migração precoce dos cromossomos em metáfases I e II, cromossomos retardatários em anáfase I e divisão assíncronica. Os acessos estudados apresentaram um índice meiótico variando de 75,6% a 93,6%, e a viabilidade polínica em todos os acessos foi superior a 90%, demonstrando que as irregularidades meióticas observadas não comprometeram a viabilidade destes. (fonte: Ciência Rural, Santa Maria, v.40, n.8, p.1746-1751, ago, 2010 - <a href="http://www.scielo.br/pdf/cr/v40n8/a686cr2712.pdf">http://www.scielo.br/pdf/cr/v40n8/a686cr2712.pdf</a>).</p> <p>Mediante os seus conhecimentos e o texto-base, a anáfase I da meiose é uma etapa fundamental para que o processo de meiose tenha sucesso. Assim, avalie qual das alternativas está correta.</p>	<p>a) Na anáfase I ocorre a separação dos cromátides-irmãos.</p> <p>b) Na anáfase I ocorre a formação de pares bivalentes.</p> <p>c) Na anáfase I ocorre a formação de quiasmas.</p> <p>d) Na anáfase I ocorre a formação de complexo sinaptonêmico.</p> <p>e) Na anáfase I ocorre a separação dos cromossomos homólogos.</p>	<p>Alternativa correta E - Na anáfase I ocorre a separação dos cromossomos homólogos, que migram para pólos opostos, reduzindo à metade o número de cromossomos em cada célula formada. Portanto, cada célula receberá um dos cromossomos de cada par de homólogos, cada um com duas cromátides-irmãos.</p>

**Quadro 3.**

Continuação.

Perguntas	Alternativas	Respostas
<p>A grande variabilidade genética traz muitas vantagens aos organismos de reprodução sexuada, uma vez que aumentam suas chances de adaptação às mudanças ambientais. Os dois processos que ocorrem na meiose são responsáveis pela variabilidade genética dos organismos que se reproduzem sexuadamente. Assinale a alternativa que exemplifica os dois processos responsáveis pela variabilidade genética.</p>	<p><b>a)</b> Segregação independente dos pares de cromossomos homólogos e permutação entre os cromossomos homólogos.</p> <p><b>b)</b> Separação da dupla-hélice da molécula de DNA e replicação de cada uma das fitas.</p> <p><b>c)</b> Duplicação dos cromossomos e segregação independente dos pares de cromossomos homólogos.</p> <p><b>d)</b> Replicação da dupla-hélice da molécula de DNA e permutação entre os cromossomos homólogos.</p> <p><b>e)</b> Duplicação dos cromossomos e pareamento dos cromossomos homólogos.</p>	<p>Alternativa correta A - Nesse tipo de divisão acontece o emparelhamento entre cromossomos homólogos, permitindo a troca de segmentos entre eles. Recombinação entre cromossomos homólogos, gerando novas combinações gênicas. A variabilidade decorrente, submetida à seleção natural, resulta na adaptação dos seres vivos ao meio.</p>
<p>A constituição de um organismo multicelular depende de processos que envolvem a reprodução das células mas, para proporcionar essa divisão, o material genético precisa se multiplicar. Usando o modelo cromossomos-permuta, simule a duplicação do DNA, relate como ocorre o processo e em que momento da divisão celular isso é possível.</p>	<p>Resposta discursiva.</p>	<p>Na figura 5 é possível observar uma forma de usar o modelo cromossomos-permuta na duplicação do DNA. A duplicação ocorre na interfase antes da célula iniciar o processo de divisão celular. O processo de duplicação do DNA tem ações de enzimas como a DNA polimerase entre outras; a separação das fitas acontece com o rompimento das pontes de hidrogênio das bases nitrogenadas, com isso ocorre a separação das fitas e a criação da forquilha de replicação e assim as bases nitrogenadas ficam expostas e a DNA polimerase insere novos nucleotídeos livres nas fitas; a junção dos nucleotídeos será complementar. Esse processo se repete até completarem as duas fitas originais, formando duas moléculas de DNA iguais. Assim, na nova fita se terá um filamento novo e um antigo, caracterizando uma duplicação semiconservativa.</p>

A prática pedagógica apresentada está associada ao percurso em direção de algo racional e operacional, implicando em recursos que buscam um melhor aproveitamento e desenvolvimento do aluno para sua capacidade dedutível e crítica. Dentro do contexto da divisão celular, essa ferramenta de ensino deve ser inserida nos conteúdos de meiose, mas pode ser apresentada e utilizada antes, numa aula de replicação do DNA, para depois ser utilizada na aula de meiose, quando ela já estaria no domínio do aluno. Ela também

poderá ser utilizada para demonstrar o comportamento dos cromossomos nas duas divisões, dependendo do tempo disponível para utilização do material, e da velocidade com que os alunos incorporem os dois momentos, propostos inicialmente, com o modelo.

A sugestão de uma sequência de aplicação do modelo de cromossomos-permuta não tem como objetivo delimitar as ações do professor, mas definir o mínimo que se pode fazer com tal proposta didática.