

03.02, 1-7 (2008)  
www.sbg.org.br

## COMBINAR E RECOMBINAR COM OS DOMINÓS

Klautau-Guimarães MN<sup>1</sup>; Oliveira SF<sup>1</sup>; Akimoto A<sup>1</sup>; Hiragi C<sup>1</sup>; Barbosa, LS; Rocha DMS<sup>2</sup> e Correia A<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Genética e Morfologia – Instituto de Ciências Biológicas- Universidade de Brasília

<sup>2</sup> Campus de Planaltina- Universidade de Brasília

<sup>3</sup> Departamento de Biologia- Universidade de Aveiro- Portugal

Email: [nklautau@unb.br](mailto:nklautau@unb.br)

### Introdução

Os conhecimentos na área de Genética são de natureza interdisciplinar e apresentam relação direta com o contexto social contemporâneo. A sociedade necessita ter acesso aos conhecimentos científicos desta área para que possa se engajar em um debate informado sobre o futuro das pesquisas em Genética e como sua aplicação pode afetar a saúde humana e o ambiente.

Apesar do desenvolvimento da Genética, grande parte da população mundial ainda explica os fenômenos hereditários considerando os conhecimentos cotidianos, que constitui um grande obstáculo para a compreensão da Genética no contexto escolar. No contexto escolar, um dos grandes obstáculos para o esclarecimento e a compreensão dos fenômenos hereditários é o modo pelo qual grande parte da população mundial ainda entende e explica esses fenômenos pois, apesar do desenvolvimento da Genética, apesar das informações científicas, a hereditariedade é ainda interpretada com base em conhecimentos leigos, do cotidiano. As explicações para os fenômenos hereditários por parte de indivíduos com níveis de escolaridades diferentes são similares e se distanciam muito das concepções científicas. As concepções errôneas sobre os fenômenos hereditários são construções socialmente compartilhadas e ativamente conservadas nas práticas sociais (Santos, 2005). Por exemplo, as relações de parentesco entre familiares são frequentemente descritas por ligação de sangue, pois prevalece a idéia de que os atributos genéticos estão no sangue. Da mesma forma, apesar do processo de fecundação ser amplamente conhecido, a natureza do material hereditário e as leis mendelianas de herança não são ainda devidamente compreendidos (Richards, 1996).

As dificuldades que os conteúdos científicos levantam decorrem da própria natureza desses conceitos, como é, por exemplo, o caso dos conceitos de DNA, proteína ou gene, os quais escapam a um acesso sensorial direto dos estudantes, ou seja, às suas experiências cotidianas. O mesmo se passa com muitos dos processos

estudados em biologia, como é o caso da síntese proteica ou da divisão celular. Além disso, as informações prévias que os estudantes possuem sobre esses conceitos podem interferir no processo de construção de significados, causando distorção do novo conhecimento. A Genética constitui um campo paradigmático para ilustração de muitas das dificuldades e problemas de aprendizagem (Cid & Neto, 2005). Dificuldades relativas ao processo de aprender e ensinar genética na universidade foram alvo de um relato de Griffithis e Mayer-Smith (2000) que apresentaram estratégias e atividades baseadas no construtivismo visando vencer os obstáculos.

Outra dificuldade é com relação à leitura das figuras apresentadas em livros. Por exemplo, estudantes da 3ª série do ensino médio de Brasília demonstraram dificuldades na leitura das imagens sobre a divisão celular assim como na aprendizagem desse tema. A forma como os alunos compreendem e aplicam os conceitos de cromátide, cromossomos homólogos, célula haplóide e célula diplóide, e a própria relação com a imagem, podem ser consideradas causas dessa dificuldade (Barros & Carneiro, 2005).

A explicitação da relação entre os processos – mitose, meiose e fecundação- os ciclos de vida e a continuidade da informação genética são as orientações principais que vários trabalhos destacam para o ensino/aprendizagem de Genética (Banet & Ayuso 1995; Lewis et al, 2000; Cid & Neto 2005; Silveira & Amabis, 2003). Observa-se também que no ensino superior a relação correta entre a meiose, DNA e herança mendeliana não fica bem estabelecida mesmo após os estudantes terem sido aprovados na disciplina (Griffithis & Mayer-Smith, 2000; Torres et al, 2004; Lock & McDermid, 2005; Neth et al, 2006).

Dentre as necessidades formativas, apontadas por professores de biologia, em formação inicial e contínua, está a proposição de recursos didáticos visando facilitar o processo de ensino e aprendizagem (Sarmiere & Justina, 2004). A compreensão dos conceitos básicos é essencial

aos conhecimentos de novas tecnologias e pode ser facilitada pela inserção de modelos didáticos no processo de ensino aprendizagem (Justina & Ferla, 2006).

### Objetivo

Atualmente existe um rico material virtual facilmente acessado pela Internet, porém ainda há uma carência de material que possibilite a concretização da idéia. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi apresentar um modelo didático que pode ser utilizado tanto no nível médio como no superior, que visa o melhor entendimento do comportamento do material genético durante as divisões celulares. O modelo é de baixo custo, fácil preparação e enfatiza a recombinação, produção (ou formação) de gametas e os possíveis erros na transmissão do material genético. Permite também que o estudante tenha a concretização de um conteúdo abstrato em decorrência da busca ativa da compreensão dos processos, e seja levado a uma atividade reflexiva sobre os processos e conhecimentos genéticos e citológicos.

### Metodologia

#### Material:

- 1 jogo de dominó (base para a confecção dos cromossomos);
- papel camurça de duas cores diferentes (para representar a herança dos cromossomos materno e paterno);
- etiquetas brancas e canetas coloridas ou pequenas etiquetas coloridas (para representar os diferentes alelos).

#### Procedimento de montagem:

O material básico, isto é, os cromossomos montados nas peças de dominó, poderá ser preparado pelo professor antes do início da atividade em sala de aula ou juntamente com os alunos, dependendo do tempo disponível e do objetivo da atividade. Por exemplo, é interessante que alunos de graduação realizem a montagem pois poderão utilizar o mesmo recurso didático em sua vida profissional.

Para o melhor aproveitamento das 28 peças do dominó, foi definida uma composição de  $2n= 14$ , sendo que os sete cromossomos de origem paterna foram representados na cor azul e os sete de origem materna, na cor vermelha. Cada cromossomo foi representado por duas peças, cada peça representando uma cromátide, visando facilitar a visualização da dinâmica da separação das mesmas no processo de divisão celular. A figura 1 representa este material básico simulando diferentes tipos de cromossomos e tamanhos variados. Nas figuras 2, 3 e 4 estão apresentadas algumas das possíveis simulações utilizando-se o material em questão.

Com o objetivo de simular o crossing-over, foi utilizado um recorte de cromossomos de cor diferente do recorte da origem parental, que foi sobreposto ao modelo básico (figura 2). Esta atividade deve ser realizada pelos alunos em sala de aula. De preferência, o mesmo recorte não deverá ser colado, pois assim o modelo poderá servir para as demais atividades propostas.

No exemplo aqui relatado, o indivíduo em questão é heterozigoto. Para simular diferentes alelos, foram recortados pedaços pequenos de etiqueta branca, que foram pintados com cores diferentes e sobrepostos ao modelo básico (figura 3). A figura 4 apresenta quatro possíveis combinações dos cromossomos homólogos obtidas com a simulação. Importante notar que nesta figura foram apresentados os produtos de uma gametogênese normal desconsiderando a ocorrência de eventos mutacionais do tipo alterações numéricas, como não disjunção e retardo anafásico, e nem alterações estruturais, como duplicação, translocação, inversão, dentre outras. Seguindo o mesmo raciocínio, o professor poderá simular também alguns genes em homozigose para que o aluno não fique com a falsa impressão de que alelos de origem materna e paterna sempre são diferentes.

Este modelo pode ser montado para diferentes genomas, diferentes ploidias e cromossomos até um máximo de  $2n= 14$  utilizando um jogo de dominó. A opção de trabalhar com um número menor de cromossomo pode ser adaptada, dependendo do número de estudantes e do tempo disponível para a execução da prática, discussão e síntese dos resultados.



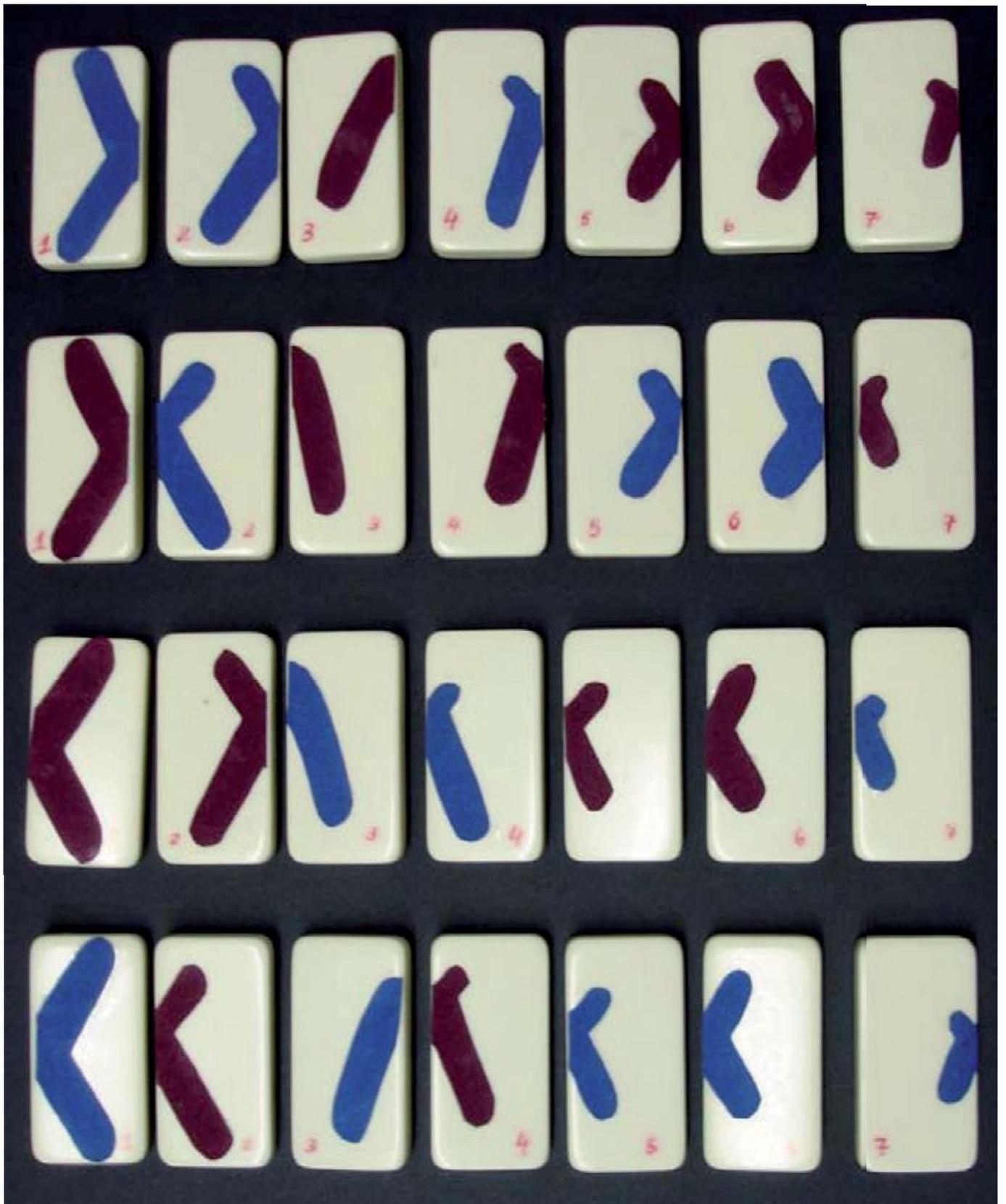
**Figura 1:** Modelo básico representando  $2n = 14$  duplicado (configuração da metafase). No exemplo aqui fornecido, o cromossomo 1 é metacêntrico grande, o 2 é submetacêntrico grande, o 3 é um telocêntrico grande, o 4 umacrocentrico grande, o 5 é submetacêntrico médio, o 6 é metacêntrico médio e o 7, um acrocêntrico pequeno.



**Figura 2:** Modelo de um par de homólogos representando uma simulação de um crossing-over.



**Figura 3:** Modelo de um par de homólogos representando a simulação de três locos em heterozigose (alelos rosa e roxo, amarelo e laranja e preto e cinza).



**Figura 4:** Representação da simulação de produtos de uma gametogênese mostrando quatro gametas possíveis de serem gerados quando se considera somente a recombinação intercromossômica e ausência de não-disjunção ou qualquer outra anormalidade na segregação dos cromossomos.

### **Sugestão de aplicação do material básico**

Sugerimos que o conteúdo seja apresentado teoricamente e visualmente antes destas atividades. Como dito anteriormente, o modelo básico pode ser fornecido ao estudante (ou um grupo) ou pode ser montado seguindo as orientações do professor, dependendo do tempo disponível e o objetivo principal da atividade. Para simular as atividades sugeridas, o modelo será modificado no decorrer das mesmas, porém poderá ser reutilizado inúmeras vezes. Sugere-se que livros sobre o conteúdo estejam disponíveis para consulta e que seja previsto um tempo final para discussão dos resultados. Sugere-se que os alunos sejam divididos em grupos de aproximadamente 4 alunos. Cada grupo receberá ou, alternativamente, montará um modelo básico, isto é, receberá um jogo de dominó.

#### **Atividade 1: Genoma e Ploidia.**

Para esta atividade o professor deve solicitar que os alunos observem atentamente o material fornecido e discutam sobre o genoma básico deste organismo, em especial com relação à ploidia ( $2n=14$ ). É possível trabalhar diferentes ploidias com o mesmo tipo de material, apesar do exemplo fornecido ser diplóide. Paralelamente, trabalhar a definição dos termos cromossomo, cromátide, centrômero, telômero, cromossomo homólogo e cromossomo duplicado.

#### **Atividade 2: Cariótipo.**

Trabalhar o conceito de cariótipo e a montagem do mesmo. Para isto solicitar que os estudantes classifiquem os tipos de cromossomos e montem o cariótipo sempre a partir dos cromossomos maiores para os menores. Paralelamente, peça para os estudantes montarem o cariótipo humano, classificando os cromossomos, recortando-os de uma figura de uma célula humana em metafase, que pode ser encontrada facilmente em livro ou na internet.

#### **Atividade 3: Cromossomos sexuais.**

E os cromossomos sexuais? Neste modelo o sexo não foi especificado por cromossomos, como pode ser então? O professor levanta as questões e solicita que os alunos busquem explicações na literatura e exemplos de organismos que apresentam determinação sexual por outras formas.

#### **Atividade 4: Ciclo celular normal (mitose).**

O professor solicita que os alunos simulem o comportamento do material genético durante a divisão mitótica. Solicita que eles observem os produtos e questiona sobre a ocorrência de recombinação.

#### **Atividade 5: Ciclo celular normal (meiose) sem crossing-over e segregação independente.**

Nesta atividade o professor solicita que os alunos

simulem o comportamento do material genético durante a divisão meiótica, considerando locos em heterozigose. Neste momento, deve-se trabalhar somente a combinação entre os diferentes cromossomos homólogos (sem crossing-over). Solicita também que os alunos observem os produtos (gametas) e questiona sobre a ocorrência de diferenças entre eles e o porquê disso: Quantos produtos diferentes são esperados? Qual a probabilidade de ocorrência de cada um?

#### **Atividade 6: Probabilidade e segregação independente:**

O professor questiona, enfatizando que os alunos não devem considerar o crossing-over nesta atividade: Qual a probabilidade de ter em um produto (gameta) somente o conjunto haplóide dos cromossomos paternos? E dos maternos?

#### **Atividade 7: Meiose com crossing-over:**

Para essa atividade o professor solicita aos alunos que eles simulem o comportamento do material genético durante uma divisão meiótica com ocorrência de crossing-over (um em cada par de homólogo) e verifiquem os produtos produzidos. Questiona ainda: Há diferenças entre os tipos de gametas produzidos na atividade 5? Pode-se também trabalhar o conceito de ligação gênica.

#### **Atividade 8: Diferença entre mitose e meiose:**

O professor coloca a seguinte situação: Um núcleo celular está em divisão e se encontra na fase de metafase. Questiona, solicitando que a resposta seja representada com o dominó: Como identificar se é uma metáfase mitótica, de meiose I ou de meiose II?

#### **Atividade 9: Produtos de meiose de diferentes genomas:**

O professor solicita que os alunos representem um núcleo  $2n=4$  e outro  $2n=6$ , simulem a meiose e analisem a produção de gametas em cada caso, considerando duas situações: a) com a ocorrência de crossing-over e b) sem crossing-over. Após as representações, o professor leva os resultados para discussão.

#### **Atividade 10: Diferenças nas ploidias:**

O professor solicita que os alunos representem, com o dominó um núcleo  $2n=6$  e outro  $3n=6$  e que simulem a metáfase I da meiose para cada caso. Questiona então sobre as observações principais da representação realizada.

#### **Atividade 11: Meiose em triploides:**

Nessa atividade os alunos são solicitados a simular a meiose completa de um núcleo  $3n=6$  e relatar os resultados. O professor deve trabalhar a questão de formação de gametas com aneuploidias em triploides junto aos seus alunos.

**Atividade 13: Meiose em tetraplóides:**

Os alunos são solicitados a simular a configuração dos cromossomos homólogos na metáfase I e na metáfase II da meiose considerando um núcleo  $4n=8$ . São então questionados pelo professor sobre a quantidade de representantes de cada cromossomo homólogo presentes em um gameta e se haveria maior ou menor variação nos gametas se o núcleo fosse  $2n=8$ .

**Atividade 14: Pareamento dos homólogos e alelos:**

Para esta atividade, o professor solicita que os alunos representem a metáfase I da meiose do material genético nuclear de uma célula  $2n=4$ , demonstrando cromossomos submetacêntricos e acrocêntricos com 6 locos, sendo 2 homozigotos e 4 heterozigotos.

**Atividade 15: Combinação e alelos:**

Esta atividade está vinculada à de número 14. Os alunos são solicitados a utilizar o material da atividade anterior, simular e anotar os resultados referentes: a) às diferenças nos gametas; b) à produção de gametas se considerar a ocorrência de um crossing-over entre cada um dos pares de cromossomos homólogos, c) ao comportamento dos alelos. Analisar e discutir os resultados.

**Atividade 16: Ciclo celular:**

Neste caso o professor utiliza o modelo para simular as alterações no material genético ao longo do ciclo celular e solicita aos estudantes que observem a variação da quantidade e estrutura do cromossomo. Pede então a eles que expliquem como e porquê ocorrem essas variações.

**Atividade 17: Divisão celular com alterações no material genético:**

Nesta atividade os alunos são solicitados a simular as divisões celulares introduzindo alterações no material genético: não disjunção meiótica (I e II), mitótica e na estrutura do cromossomo.

**Atividade 18:**

Os alunos são solicitados a simular a ocorrência de uma trissomia livre em um núcleo originalmente  $2n=4$  e verificar que tipos de gametas um indivíduo trissômico pode produzir e em que probabilidade. Neste caso, devem supor a ocorrência de fecundação com um gameta normal e avaliar quais os possíveis cariótipos da prole.

**Atividade 19: Meiose e Aneuploidias:**

Para esta atividade os alunos devem representar a meiose de um núcleo celular com uma tetrassomia e uma nulissomia. Posteriormente, devem descrever quais os tipos de gametas que podem ser esperados e fazer uma comparação com os resultados da atividade anterior.

**Atividade 20: Meiose e alteração Estrutural:**

Os alunos são solicitados pelo professor a representar uma trissomia devido a uma translocação robertsoniana. Depois devem fazer uma demonstração da configuração do pareamento dos cromossomos homólogos incluindo o cromossomo alterado e comparar os gametas formados com aqueles advindos de um núcleo com trissomia livre.

**Atividade 21: Combinar e recombinar:**

O professor solicita aos alunos que demonstrem, com o dominó, como é possível uma criança apresentar novas combinações de genes que estão ausentes em ambos os pais.

**Atividade 22: Meiose e Genes ligados:**

Para este conteúdo os alunos são solicitados a representar diferentes locos em heterozigose no modelo básico com genes ligados e não ligados e determinar os genótipos parentais. Devem, posteriormente, simular a meiose, analisar os genótipos dos gametas e discutir os resultados, além de testar a possibilidade dos locos serem todos homozigóticos.

**Considerações finais:**

Entendemos que os conhecimentos da Genética associados ao ensino da Reprodução no contexto escolar e social podem tornar os conteúdos científicos escolares dotados de significado, aplicação e riqueza de exemplos da vida cotidiana. Como ensinar e levar o estudante a compreender as seguintes questões: - como o material genético é transmitido de pai para filho pelos gametas? - O que ocorre na fecundação e o que dá origem a um novo ser, perpetuando a espécie? Como as alterações nos cromossomos ocorrem dando origem às síndromes genéticas? Como entender qual a probabilidade de um indivíduo com síndrome de Down ter um filho normal? Diante destas perguntas este material foi elaborado para atender a necessidade de propostas pedagógicas que permitam aproximar as pessoas do conhecimento científico com atividade reflexiva.

É fundamental que o professor analise o material de modo crítico, pois além do tema ser de aplicação direta à vida cotidiana, também apresenta uma vasta literatura que pode ser mais explorada, possibilitando, assim, o aprimoramento do material e adequação do mesmo às diferentes realidades. As aneuploidias são as mais frequentes anormalidades cromossômicas, é a base genética de abortos e defeitos congênitos. Sabe-se atualmente que a maioria das aneuploidias tem origem em erros na meiose I materna, que a idade materna é um fator de risco para as trissomias humanas e que alterações na recombinação têm importante contribuição na não-disjunção meiótica. As pesquisas atuais nesta área visam o entendimento da relação entre a recombinação e os eventos da não-disjun-

ção. Esses temas, assim como as causas de não disjunção meiótica em humanos foi revisto e está disponível na literatura (Hassold et al, 2007), o que pode ser de grande utilidade para a atualização dos professores com relação a estas questões. Também pesquisa-se as possíveis consequências das aneuploidias de cromossomos sexuais na segregação dos cromossomos meióticos, já que com o tecnologia de reprodução assistida os pais anteriormente inférteis, hoje podem ser pais biológicos, como no caso de homens 47,XXY. O mecanismo de origem das aneuploidias de cromossomos sexuais, na maioria dos casos, deriva da perda ou ganho de um cromossomo paterno (Hall et al, 2006).

Ao longo das nossas experiências no ensino de graduação e também em cursos de atualização para professores, detectamos a falta de percepção da extensão da variação genética resultante da meiose. O presente material pode facilitar a visualização destes dois processos únicos da meiose: a combinação e a recombinação. Pierce (2003), chama a atenção para o esclarecimento desses dois processos, onde o primeiro, o crossing-over, mistura alelos no mesmo cromossomo, levando a novas combinações, que resulta em cromátides irmãs não idênticas; o segundo, é a distribuição independente dos cromossomos paternos e maternos, que mistura alelos de diferentes cromossomos em novas combinações.

### Bibliografia de referência

- Banet, E. & Ayuso, E. (1995). Introducción a la genética en la enseñanza secundaria y bachillerato: I. Contenidos de enseñanza y conocimientos de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias*, 13 (2), 137-153.
- Barros, MMV & Carneiro, MHS (2005). Os conhecimentos que os alunos utilizam para ler as imagens de mitose e de meiose e as dificuldades apresentadas. V Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, Atas do V ENPEC n.5: 1- 12.
- Cid, M. & Neto, AJ. (2005). Dificuldades de aprendizagem e conhecimento pedagógico do conteúdo: o caso da genética. *Enseñanza de las Ciencias*, número extra, VII Congresso.
- Griffiths, AJF & Mayer-Smith (2000). *Understanding genetics. Strategies for teachers and learners in universities and high schools*. W. H. Freeman and Company.
- Griffiths, AJF; Wessler, SR; Lewontin, RC and Carroll, SB (2008). *Introduction to Genetic Analysis*. 9 edição. W. H. Freeman and Company.
- Hassold, H Hall, H & Hunt, P (2007). The origin of human aneuploidy: where we have been, where we are going. *Hum. Mol. Genet.* 16 *Review Issue* 2: 203- 208.
- Hall, H Hunt, P & Hassold, T (2006). Meiosis and sex chromosome aneuploidy: how meiotic errors cause aneuploidy; how aneuploidy causes meiotic errors. *Current Opinion in Genetics and Development* 16: 323-329.
- Justina, VA e Ferla, MR (2006). A utilização de modelos didáticos no ensino de Genética- exemplo de representação do DNA eucarioto. *Arq. Mudi.* 10 (2): 35 – 40.
- Lewis, J. Leach J. & Wood-Robinson, C. (2000). Chromosomes: the missing link – young people s understanding of mitosis, meiosis, and fertilisation. *Journal of Biological Education*, 34 (4), 189-199.
- Locke, J & MacDermid, HE (2005). Using pool noodles to teach Mitosis and Meiosis. *Genetics* 170 (1): 5-6.
- Neth, SZ; Sherman, LR and Chinnici, JP (2006). USING “Chromosomal Socks” To demonstrate Ploidy in Mitosis & Meiosis. *The Am. Biol. Teac.* 68 (2): 106-109.
- Pierce, BA (2003). *Genetics. A conceptual approach*. W. H. Freeman and Company.
- Richards, M (1996). Lay knowledge of inheritance and genetics risk: a review and a hypothesis. *Health Care Analysis* 4, 1861-4.
- Samiere, VS e Justina, VA (2004). Fatores inibidores da atividade pedagógica. In: Encontro Nacional de Didática e Prática de Ensino, 12. Curitiba, CD.
- Santos, S (2005). Para geneticistas e educadores: o conhecimento cotidiano sobre a herança biológica. Annablume editora, FAPESP; Sociedade Brasileira de Genética.
- Silveira, RVM & Amabis, JM (2003). Quais células possuem cromossomos, genes e DNA após o ensino médio? Resumo do 49º Congresso Brasileiro de Genética.
- Torres, KM; Yue, JW and Chinnici, JP (2004). Students as “Human Chromosomes” in Role-playing Mitosis & Meiosis. *The Am. Biol. Teac.* 66 (1): 35-39.