Sabrina Ribeiro de Paula

ENSINO E APRENDIZAGEM DOS
PROCESSOS DE DIVISÃO CELULAR NO
ENSINO FUNDAMENTAL

São Paulo

2007

Sabrina Ribeiro de Paula

ENSINO E APRENDIZAGEM DOS
PROCESSOS DE DIVISÃO CELULAR NO
ENSINO FUNDAMENTAL

Dissertação apresentada ao Instituto
de Biociências da Universidade de
São Paulo, para a obtenção de Título
de Mestre em Ciências, na Área de
Biologia (Genética).

Orientador:
Prof. Dr. Paulo Alberto Otto

São Paulo

2007

Paula, Sabrina Ribeiro de

Ensino e aprendizagem dos processos de
divisão celular no Ensino Fundamental, 113
páginas

Dissertação (Mestrado) - Instituto de
Biociências da Universidade de São Paulo.
Departamento de Genética e Biologia
Evolutiva.

1. Ensino e aprendizagem 2. Divisão celular

Universidade de São Paulo. Instituto de
Biociências. Departamento de Genética e
Biologia Evolutiva.

Comissão Julgadora:

Prof(a). Dr(a).

Prof(a). Dr(a).

Prof. Dr. Paulo Alberto Otto

Orientador

Dedico esta dissertação à
Silvana Santos, que me
apoiou e me orientou em todas
as etapas deste trabalho,
e à minha família, tão
importante em minha vida.

“É melhor arriscar coisas grandiosas, alcançar triunfos e glórias, mesmo expondo-se à derrota, do que entrar na fila com os pobres de espírito, que nem gozam muito, nem sofrem muito, porque vivem nessa penumbra cinzenta que não conhece vitória nem derrota.”

(Theodore Roosevelt)

AGRADECIMENTOS

À Silvana Santos, que orientou este trabalho, por todo conhecimento, auxílio e paciência nesta caminhada, por muitas vezes, tumultuada.

Ao Prof. Dr. Paulo Alberto Otto por aceitar-me em seu grupo de trabalho.

À Maria Elena Infante-Malachias, por toda ajuda e amizade.

À amiga Ana pelo carinho e colaboração.

Ao meu irmão Luciano Ribeiro de Paula e ao amigo Daniel Demetrio que me ajudaram a montar os gráficos e tabelas.

Aos estudantes que fizeram parte desta história.

Aos meus amigos de São José dos Campos que estavam sempre ao meu lado, me apoiando, durante este período.

A meu marido Rodrigo Gonçalves Mioni, não somente pelo amor, mas também por toda sua dedicação perante os nossos primeiros desafios.

Aos meus pais por me ajudarem nos momentos fáceis e difíceis de uma maneira tão especial e carinhosa.

À minha família que é tão importante em minha vida.

ÍNDICE

1. Introdução	08
1. A aprendizagem dos processos de divisão celular	08
2. O ensino dos processos de divisão celular	21
3. Transposição didática	25
2. Objetivos	29
3. Métodos	30
1. Amostra	30
2. Procedimentos	30
1. Levantamento das idéias dos estudantes	33
2. A seqüência didática	40
3. Procedimento para análise dos resultados	57
4. Resultados	63
1. Questionário modificado de Lewis	63
2. Padrões de aprendizagem	71
5. Discussão e Conclusão	105
Resumo	109
Abstract	110
Referências bibliográficas	111

1 INTRODUÇÃO

Ao longo dos últimos trinta anos, a literatura educacional produziu uma série de conhecimentos e conceitos que servem para o planejamento de seqüências didáticas, mas grande parte dos professores que atuam em sala de aula desconhece essas produções, principalmente porque os periódicos de referência são publicados em língua inglesa. Neste sentido, pesquisas que ofereçam descrições sobre o planejamento e aplicação de seqüências didáticas alternativas ao ensino tradicional poderão servir como subsídio para reflexão didática, tanto em cursos de formação inicial quanto continuada de professores. Neste capítulo, serão inicialmente descritas as principais barreiras conceituais encontradas para a aprendizagem dos processos de divisão celular em diferentes culturas. Posteriormente, será apresentada uma síntese dos principais conceitos que podem subsidiar o planejamento de seqüências didáticas pelos professores e uma breve discussão sobre o processo de transposição didática.

1.1 A APRENDIZAGEM DOS PROCESSOS DE DIVISÃO CELULAR

A rápida expansão do conhecimento da genética molecular e o avanço da indústria de biotecnologia requerem que o público compreenda muitos conceitos da genética para a tomada de decisões sobre a pertinência do uso dessas novas ferramentas. Basta citar, por exemplo, a ampla discussão sobre a utilização de células-tronco na pesquisa genética. Tanto no Brasil quanto nos Estados Unidos, essa questão é alvo de intenso debate e envolve diferentes segmentos da sociedade. Sob o ponto de vista científico, um dos aspectos cruciais para a compreensão dessa questão diz respeito ao entendimento dos processos de divisão e diferenciação celular.

Nem sempre o desenvolvimento de novas biotecnologias é acompanhado pelo entendimento de suas implicações. Por exemplo, o desenvolvimento de testes genéticos para identificação de portadores de mutações associadas às doenças genéticas pode interferir em decisões reprodutivas de casais com história de familiares afetados por essas doenças. A tecnologia permite a um casal escolher algumas características de um embrião, evitando a implantação daqueles afetados por condições genéticas para as quais já existam testes. Com a redução de custos para produção desses testes e outras biotecnologias, essas questões e a necessidade de tomar decisões semelhantes a esta, as quais dependem de conhecimento sobre aspectos básicos da genética, estarão cada vez mais presentes em nossa vida cotidiana.

Apesar da expansão do conhecimento acadêmico na área, nem sempre esse conhecimento alcança e é entendido pelo público. As crianças, por exemplo, desenvolvem algumas noções sobre hereditariedade a partir de informações fragmentadas oferecidas por meios de comunicação, como revistas, documentários e filmes. Termos científicos como gene e cromossomo, ou mesmo o modelo de dupla hélice de DNA, deixam de circular apenas entre especialistas passando a circular no cotidiano das pessoas, estampados em imagens de diferentes produtos, até mesmo rótulos de xampus.

Pouco se sabe a respeito de como as crianças lidam com essas informações que circulam na vida cotidiana, ou como elas utilizam essas idéias no contexto escolar. Certamente, elas conectam as informações oferecidas pelo professor a uma rede de conhecimentos pré-existentes, dando origem a explicações sincréticas para os fenômenos hereditários. Essas explicações são reconhecidas na literatura educacional como “*misconceptions*” e são originadas por força de um mecanismo de aprendizagem que tende a associar ou entrelaçar idéias originárias em distintos campos de produção de conhecimento (científico, escolar e cotidiano) (Santos, 2005 e 2006).

A produção acadêmica sobre a aprendizagem da genética, assim como os currículos escolares, evitam, de certa maneira, o público do ensino fundamental (Venville et. al, 2005). Há um corpo significativo de pesquisas sobre o entendimento da herança de características entre crianças nos primeiros anos da educação formal (por exemplo: Solomon et. al., 1996; Springer, 1999) e uma produção significativa envolvendo grupos de estudantes de 14 a 18 anos de idade (Banet e Ayuso, 2000; Lewis, 2000 e 2004; entre outros). Pouquíssimas pesquisas investigam o entendimento das crianças entre 10 e 14 anos de idade, que constituem o elo entre aquelas fases do desenvolvimento.

Um dos grupos que tentou dar conta dessa lacuna foi o de Venville e colaboradores (2005) em uma pesquisa que examinou o entendimento de conceitos básicos da genética em uma amostra de 90 estudantes australianos entre 9 e 15 anos de idade por meio da aplicação de questionários e entrevistas. Os resultados indicaram que a maioria dos estudantes consegue diferenciar o conceito de herança biológica da herança social, o qual está vinculado, na vida cotidiana, à descrição de hábitos aprendidos pelas crianças em virtude da vivência com seus pais. Contudo, as crianças do ensino primário possuem um pouco de entendimento sobre o significado dos termos gene e DNA, o que não se transforma muito com o ensino formal.

Cinco anos antes dessa publicação, Lewis e Wood-Robinson (2000) desenvolveram um questionário com perguntas abertas e de múltipla escolha para investigar a compreensão sobre a genética entre estudantes de 14 a 18 anos de idade. Este instrumento foi posteriormente reproduzido por outros autores em outras culturas, como Ansuman Chattopadhyay (2004) na Índia. Naquela pesquisa, participaram 482 estudantes ingleses de 14-16 anos, os quais estavam concluindo a educação obrigatória e a maioria já havia aprendido conteúdos da genética no currículo escolar. Para os autores, a herança biológica e os processos de divisão celular são pobremente entendidos nesta idade e muitas noções distorcidas - “*misconceptions*” - ainda são encontradas entre os jovens. Por exemplo, muitos deles acreditam na herança de características adquiridas e na contribuição desigual da informação genética dos genitores para a formação da criança.

Nesse questionário de Lewis e Wood-Robinson (2000) também foram examinados os conhecimentos dos estudantes em relação ao significado de muitos termos e idéias freqüentemente encontradas na mídia, como informação genética, cromossomos, genes e DNA; bem como os processos pelos quais essa informação é reproduzida para regeneração de tecidos e transferida ao longo das gerações. Enquanto a maioria dos alunos ingleses identificou os genes como sendo a informação que é transmitida ao longo das gerações, poucos deles demonstraram compreender gene como uma entidade física localizada no cromossomo. Quando convidados a justificar por que os genes são importantes, 73% dos alunos ingleses amostrados afirmaram que os genes determinavam as características e 14% disseram que eram responsáveis pela transferência da informação hereditária. Entretanto, quando solicitados a dizer onde os genes estavam localizados, quase metade dos estudantes indicou as células. Somente 11% deles localizaram os genes nos cromossomos. Um quarto dos alunos ingleses, após um período de aprendizagem formal na escola, acredita que os genes são maiores do que os cromossomos.

Na Índia, Ansuman Chattopadhyay (2004) reproduziu o método de Lewis e Wood-Robinson (2000) com o intuito de investigar a compreensão da genética envolvendo 289 alunos indianos com idade entre 16 e 18 anos. Comparando os achados obtidos pelos dois grupos, observamos que somente uma minoria de estudantes ingleses e indianos distingue claramente uma célula somática da célula germinativa, e poucos sabem relacionar a diferença entre mitose e meiose. Por exemplo, quando convidados a dizer se células da bochecha de um mesmo indivíduo possuem a mesma informação genética, ou quando comparadas com as células

nervosas e os gametas; somente 60% da amostra inglesa souberam responder adequadamente a esta questão. 89% dos estudantes indianos acreditam que espermatozóides e as células da bochecha possuem a mesma informação genética; 30% pensam que somente as células do mesmo tipo, que estão na mesma parte do corpo, contêm a mesma informação genética, portanto, células da bochecha seriam diferentes das células nervosas de um mesmo indivíduo, e aproximadamente 50% dos estudantes indianos acharam que somente as células com as mesmas funções contêm a mesma informação. Na amostra inglesa, uma porcentagem similar de alunos não fez distinção entre células somáticas e células germinativas; e apenas um quinto dos alunos entendeu que todas as células de um indivíduo possuem a mesma informação genética. Dessa maneira, percebe-se que a maioria dos estudantes ingleses e indianos acredita que as células somente contêm a informação genética que necessitam para exercer suas funções.

Em relação ao tema reprodução, a comparação dos dados colhidos pelo grupo de Lewis no Reino Unido e Chattopadhyay na Índia mostrou que 45% dos alunos ingleses sabem que os gametas, óvulos e espermatozóides, contêm igual número de cromossomos e 42% dizem que o óvulo fertilizado contém o dobro de cromossomos em relação aos gametas. Entretanto, somente 12% reconheceram a relação entre reprodução sexual e variabilidade genética e destes somente 3% sabem que os alelos são diferentes formas de um gene. Entre os indianos, 39% reconheceram que óvulos e espermatozóides possuem igual número de cromossomos; 42,5% afirmaram que o óvulo fertilizado contém o dobro de cromossomos dos gametas e 43,5% responderam adequadamente sobre a importância da reprodução sexual.

Desta forma, podemos observar que em ambos os estudos, a maioria dos estudantes não soube descrever como a informação genética é transferida de uma célula para outra célula dentro de um organismo. Apenas alguns estudantes ingleses conseguiram distinguir as células somáticas das células germinativas, mas parte deles acredita que as células somáticas possuíam somente as informações genéticas necessárias para realizar suas funções, portanto, cada célula de um mesmo organismo conteria diferentes informações. Esses achados sugerem que a maioria dos alunos não entende os processos divisão celular (mitose e meiose), desconhecendo a relação entre divisão celular e continuidade da informação genética.

Em outra publicação, Lewis (2004) utilizou as informações quantitativas colhidas com uso do questionário do estudo anterior para compreender mais profundamente a maneira como os alunos entendem a herança de características. A

abordagem utilizada foi qualitativa e a autora entrevistou 10 alunos alemães de 15 a 18 anos de idade com a intenção de conhecer em detalhes seus entendimentos sobre a herança biológica. Considerando esses achados, Lewis (2004) concluiu que os estudantes ingleses e alemães compartilham muitas noções como, por exemplo:

- a idéia de que genes são pequenas partículas contendo um traço ou característica em miniatura (“... *nas células estão os cromossomos que contêm pigmentos... para a cor dos olhos...*”).
- as noções sobre genótipo e fenótipo se confundem, pois os alunos não distinguem uma unidade de transmissão do traço transmitido (“*os genes estão entre as mais importantes partes da hereditariedade, porque eles armazenam todas as características...*”).
- conservam-se idéias de pré-formação (“*As células germinativas de machos e fêmeas possuem diferentes partículas, e diferentes partes do pai e da mãe são passadas para os filhos. Talvez eu possua pequenas partes transmitidas da minha mãe e outras partes transmitidas de meu pai*”).
- as características seriam transmitidas pelo sangue (“*Talvez os olhos contenham pigmentos especiais ou algo parecido, que são transportados para as células germinativas da fêmea pelo sangue*”).

Estes achados mostram que muitas idéias cotidianas são utilizadas pelos estudantes de 14 a 18 anos de idade para explicar a transmissão de características, e essas idéias podem ser compreendidas como verdadeiras barreiras para o entendimento do conhecimento científico. De acordo com Lewis (2004), já se sabia de longa data que as crianças possuem noções alternativas sobre muitos fenômenos naturais. Os resultados da pesquisa envolvendo estudantes alemães somente evidenciam a utilização de explicações cotidianas pelos estudantes para compreender temas acadêmicos ensinados pela escola.

Na Espanha, Banet e Ayuso (2002) estudaram as concepções sobre a localização e transmissão da herança biológica que estudantes do ensino médio possuem sobre a genética antes da aplicação de uma seqüência didática. As diferentes maneiras de entender esse conteúdo foram sintetizadas em esquemas ou perfis conceituais. No esquema I, por exemplo, foram agrupados os estudantes que pensavam que a informação hereditária é transmitida exclusivamente pelos gametas. Muitos alunos acreditam que somente as células sexuais são portadoras da informação hereditária. Para eles, as informações carregadas pelo zigoto são transmitidas

unicamente para as células sexuais e daí aos futuros descendentes. A figura a seguir mostra o esquema conceitual I encontrado entre os estudantes espanhóis:

Figura 1: Esquema conceitual I: a informação hereditária é transmitida pelos gametas.

No esquema conceitual II, foram agrupados os estudantes que acreditavam que a informação hereditária está nos gametas. Uma parte dessa informação é transmitida para cada célula somática; e cada célula tem a informação hereditária que necessita para desenvolver suas funções. A seguir, é possível analisar o esquema que representa essa maneira de entender a transmissão da informação genética.

Figura 2: Esquema conceitual II: a informação hereditária está nos gametas, mas também é transmitida para as células somáticas. Cada célula possui a informação hereditária que necessita para realizar suas funções.

No terceiro esquema descrito por Banet e Ayuso (2002), os estudantes entendem que todas as células possuem a mesma informação hereditária, reconhecendo que a informação hereditária é transmitida do zigoto para todas as células do organismo através de cópias idênticas e, desta forma, todas teriam a mesma informação hereditária independentemente de sua localização ou função. Trata-se do esquema que poderíamos considerar mais próximo da concepção científica e que é encontrado mais frequentemente entre os estudantes da educação secundária espanhola.

Figura 3: Esquema conceitual III: todas as células possuem a mesma informação hereditária.

Em outro trabalho envolvendo estudantes espanhóis de 15 anos de idade, Orcajo e Aznar (2005) aplicaram uma sequência didática baseada na resolução de problemas para investigar como ela influenciaria a aprendizagem da genética em comparação com programas de ensino tradicionais. As atividades didáticas propostas pelos autores buscaram solucionar as dificuldades dos estudantes, relatadas na literatura, em relação à localização da informação hereditária e como ela é transmitida. De acordo com os autores, antes da instrução, muitos estudantes mantêm concepções alternativas. Os estudantes não resolvem problemas corretamente porque não entendem conceitos importantes como cromossomos, genes, alelos e nem a relação entre eles. Ao grupo controle foi oferecido atividades de ensino tradicionais focadas em resolução de problemas fechados. Ao grupo experimental, foi utilizada uma sequência didática baseada na resolução de problemas abertos que abrangeram

todos os tópicos de genética requeridos no currículo espanhol. Na tabela descrita a seguir, os autores mostram três diferentes graus de compreensão encontrada entre os estudantes sobre dois temas relacionados à divisão celular: a localização da informação hereditária e sua transmissão.

Tabela 1: Relação entre teorias específicas e modelos mentais ou níveis de complexidade de explicações, de acordo com a proximidade com a comunidade científica (Orcajo e Aznar, 2005).

Teorias específicas	Nível	Modelo mental
- Localização da informação hereditária	1	- A informação hereditária é encontrada em algumas estruturas (genes, DNA, células sexuais), mas elas são independentes.
	2	- A informação hereditária é encontrada nos cromossomos sexuais (XX para as fêmeas, e XY para machos) presentes nos gametas.
	3	- A informação hereditária é encontrada nos cromossomos que estão no núcleo das células. Um dos pares desses cromossomos está relacionado à determinação de sexo.
A transmissão da informação hereditária	1	- Um bebê pode receber mais informação genética de um dos pais, em particular os filhos dos pais e as filhas das mães. Algumas características podem ser transmitidas dos avós para os netos, “saltando” uma geração.
	2	- Crianças recebem metade da informação hereditária de cada um dos parentes. Entretanto eles podem receber mais características físicas de um, e mais características psicológicas de outro.
	3	- Crianças recebem metade da informação genética do pai e a outra metade da mãe (cromossomos) através dos gametas. Eles possuem dois alelos para cada característica, um de cada parente, e o dominante é expresso. Algumas vezes características recessivas recebidas dos genitores são expressas nos filhos.

Após a aplicação das seqüências didáticas e em relação à localização da informação hereditária, os autores verificaram que, no grupo submetido ao programa de ensino baseado na resolução de problemas abertos, 80% dos estudantes passaram do primeiro para o terceiro nível de compreensão. Em relação à transmissão da informação hereditária, 90% dos estudantes que estavam nos primeiros dois níveis passaram para o terceiro. Os autores concluíram que o uso de resolução de problemas abertos favorece reflexões metacognitivas promovendo uma reestruturação conceitual evidente na compreensão dos temas estudados pelos estudantes no grupo experimental.

Venville e Treagust (1998) examinaram as concepções sobre genes em uma amostra de alunos australianos com idade de 14-15 anos ao longo de dez semanas de um curso de genética. O conhecimento dos estudantes foi coletado antes e após o curso através de observação participante em sala de aula, gravações em vídeo, aplicação de questionários e entrevistas. Os dados foram interpretados à luz de

diferentes referências teóricas, as quais foram sintetizadas em uma matriz que retrata as diferentes perspectivas em que poderiam ocorrer as mudanças conceituais. Numa perspectiva ontológica, a maioria dos estudantes considera que os genes são partículas ativas passadas entre gerações, mas dificilmente eles compreendem o processo de expressão dos genes e sua relação com a produção de proteínas. Em uma perspectiva afetiva, a totalidade dos estudantes não demonstra interesse em compreender extensa e profundamente a genética, demonstrando uma atitude mais pragmática de ater-se somente aos procedimentos para solucionar os problemas de genética mendeliana necessários ao seu sucesso em avaliações escolares. Por fim, em uma perspectiva epistemológica, as concepções prévias dos estudantes não os impedem de aceitar os novos conhecimentos oferecidos pelo professor e, na maior parte das vezes, os conhecimentos prévios são conciliados aos novos conceitos (Venville e Treagust, 1998).

Na Turquia, Saka e colaboradores (2006) desenvolveram uma investigação minuciosa sobre a evolução da compreensão de alguns conceitos relacionados à informação genética, envolvendo 175 estudantes de diferentes idades e níveis de instrução (14-15 anos, 16-17 anos, 20 anos, futuros professores de ciências e futuros professores de biologia). Os autores usaram questões diretas por meio das quais perguntaram aos estudantes o que entendiam por gene, DNA e cromossomo, e solicitaram a eles que representassem essas estruturas através de um desenho. As respostas às questões escritas mostraram que os estudantes de todas as idades possuem concepções alternativas sobre DNA, gene e cromossomos. Na tabela a seguir, a evolução da compreensão desses conceitos-chave da genética entre estudantes turcos é descrita resumidamente.

Tabela 2: Compreensões distorcidas sobre conceitos de gene, DNA e cromossomos encontrados entre estudantes de diferentes níveis de ensino na Turquia (Saka e col., 2006).

Grupos	Idéias sobre genes	DNA	Cromossomos
14-15 anos	- É um traço hereditário - Quatro nucleotídeos do DNA formam um gene	- Ele é um gene - É a menor estrutura - Eles formam o grupo sanguíneo	- O DNA está no cromossomo - Cromossomos são formados por dupla hélice
16-17 anos	- Eles são traços hereditários - Eles são compostos de cromossomos	- Ele é composto de proteínas A, T, C e G	- É uma estrutura que carrega genes
20 anos	- O gene é maior que o núcleo - Gene é uma linha no topo do cromossomo - Células que carregam estruturas pessoais	- Todos os traços físicos - É um pedaço do gene	- É constituído de fibras finas - É um pedaço de um gene
Futuros professores de ciências	- Gene é maior que o núcleo - O DNA é chamado de gene	- É um pedaço do gene	- É chamado de DNA
Futuros professores de biologia	- É um trio de nucleotídeos no DNA - Eles têm a informação do DNA	- É achado na forma de cromátides	- Ele é formado pela junção de cromátides - Eles são cromátides no DNA

Saka e colaboradores (2006) esperavam que estudantes de um nível escolar mais elevado possuíssem um melhor entendimento da genética. Apesar dos graduandos de um curso de licenciatura utilizarem mais frequentemente a terminologia científica, isto não significou que eles compartilhassem de uma compreensão científica do significado de conceitos básicos. Da mesma forma que os alunos do ensino médio, muitos graduandos acreditam que os genes, DNA e cromossomos são estruturas independentes umas das outras. Essa idéia foi explicitada através dos desenhos nos quais as estruturas formavam entidades diferentes e se localizam no citoplasma ou no núcleo da célula, como ilustrado nas figuras 4 e 5.

Figura 4: Ilustrações produzidas por alunos turcos do ensino médio mostrando a relação existente entre DNA, genes e cromossomos.

Figura 5: Ilustrações produzidas por futuros professores de ciências mostrando a relação existente entre DNA, genes e cromossomos

Na Holanda, Knippels e colaboradores (2005) também investigaram as “dificuldades dos estudantes” para entender a genética. Nesta pesquisa foi realizada uma extensa revisão bibliográfica; entrevistas com professores; observações em uma sala de aula na qual foi desenvolvida uma sequência didática tradicional; entrevistas com estudantes e, por fim, a análise dos conteúdos de livros didáticos.

As dificuldades para compreensão da genética estão relacionadas principalmente ao entendimento de três aspectos: a localização do material hereditário, a distinção entre mitose e meiose e conceito de cromossomo. Por meio de entrevistas realizadas com professores holandeses, eles relataram que “os estudantes possuem um inadequado entendimento dos processos de meiose, e não entendem as

diferenças entre meiose e mitose, consequentemente estudantes adquirem uma base conceitual pobre de genética”. Ao observar treze aulas de Genética em uma mesma turma de 22 alunos, os autores verificaram que eles demonstravam evidente dificuldade em resolver os problemas de genética. Durante as entrevistas, os estudantes não conseguiram identificar as diferenças entre células somáticas e germinativas, o que é realmente passado de pais para os filhos nas gerações e a relação entre o processo e os produtos da meiose.

As análises da organização do conteúdo em livros didáticos mostraram ausência de preocupação com relação ao ensino dos níveis de organização biológica e em relacionar o ensino de genética ao de reprodução, o que evidencia a fragmentação do conteúdo. Neste sentido, Knippels e colaboradores (2005) afirmam que a organização do conteúdo no livro didático pode funcionar como uma barreira para a compreensão dos conceitos e sugerem que o ensino de genética se inicie com a distinção entre os diferentes níveis biológicos, dos mais elevados descendo gradualmente para o nível celular.

Até recentemente, poucas pesquisas no campo da educação realizadas no Brasil foram publicadas e tornam-se acessíveis ao público; permanecendo, a maior parte delas, nas prateleiras das bibliotecas na forma de monografias. Essas pesquisas foram desenvolvidas principalmente a partir da década de 80 e uma das primeiras dissertações na área de ensino de genética - senão a primeira - foi desenvolvida por Silvia Frateschi Trivelato (1987) junto ao Departamento de Biologia do Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo. A autora observou o desenvolvimento de um curso sobre genética ao longo de seis meses em uma escola do ensino médio da rede pública de São Paulo. Segundo a própria autora “as convicções dos professores se revelam em suas ações, como a seleção de conteúdos a serem abordados, a maneira como são desenvolvidos, os exemplos escolhidos e a forma como acolhem dúvidas e contribuições trazidas pelos alunos”.

Para avaliar o conhecimento de genética dos alunos, Trivelato (1987) aplicou um questionário com 55 questões e entrevistou os alunos que estavam no final do período letivo. A autora observou que muitos alunos não distinguiam os conceitos de genótipo e fenótipo, gametas e cromossomos sexuais. Embora os alunos fossem capazes de resolver problemas de genética utilizando o diagrama de Punnett, poucos souberam dizer qual era a composição genética dos gametas representados naquele diagrama. Nas palavras de Trivelato (1987) “... quando são mencionados exemplos humanos ou casos dos quais os alunos têm alguma referência, como no tópico de

herança dos grupos sanguíneos, por exemplo, aumenta qualitativamente a participação dos alunos. Constatando-se, assim, que os estudantes não são generalizadamente alheios e desinteressados; ao contrário, demonstram estar prontos a traduzir as informações transmitidas pela escola em conhecimentos úteis ao seu dia-dia”.

Quase vinte anos depois, junto ao mesmo departamento, Silveira (2003) investigou como os estudantes de ensino médio relacionam os conceitos associados à localização e organização do material genético. Um questionário contendo nove questões foi desenvolvido e aplicado conjuntamente com a realização de entrevistas semi-estruturadas para avaliar o entendimento de conceitos básicos (DNA, alelo, gene, cromossomo, células, fenótipo e genótipo), os processos de divisão celular (mitose e meiose) e padrões de herança (segregação e segregação independente). 80% dos alunos que responderam ao questionário compartilham a idéia de que todos os seres vivos possuem células. Apenas 19,35% dos estudantes responderam que existem DNA, genes e cromossomos dentro nas hemácias; 21,51%, nos neurônios; 31,18%, nas células epiteliais; e 48,39%, nos óvulos. Enquanto somente 15,59% dos alunos assinalaram a alternativa que corresponde à idéia de que os genes estão nos cromossomos, 73,12% dos alunos indicaram corretamente o cromossomo no esquema oferecido a eles. Cerca de 30% dos alunos assinalaram as alternativas que indicam a presença de informações genéticas apenas nos gametas.

Com base em seus resultados, Silveira (2003) concluiu que “os alunos que finalizam o Ensino Médio compartilham algumas relações conceituais válidas: que os seres humanos e demais mamíferos possuem células e os gametas possuem cromossomos e genes. Além disso, conseguem reconhecer o cromossomo em um desenho esquemático de célula. Algumas relações conceituais, no entanto, não são compartilhadas por esses mesmos alunos: muitos não compreendem a célula como a unidade da vida, que todas as células possuem informação genética e que os genes estão nos cromossomos”.

Infante-Malaquias e Santos (submetido), com base em um questionário semelhante ao desenvolvido por Silveira (2003), descreveram o entendimento de alguns conceitos de genética de estudantes de seis diferentes cursos de graduação (Biologia, Medicina, Psicologia, Nutrição Odontologia e Fonoaudiologia) e compararam o desempenho dos estudantes no início e no final do curso de Biologia. Entre estudantes do curso de Ciências Biológicas, há uma evidente variação do desempenho em diferentes períodos da graduação. Quando concluem a disciplina de Genética no primeiro ano, os estudantes mostram uma melhor compreensão dos

conceitos mendelianos do que aqueles que estão concluindo a graduação. Parece que o desempenho, neste caso, responde proporcionalmente à proximidade temporal com conteúdo e, de maneira inesperada, inversamente ao período de graduação. Outra razão para explicar a evidente piora no entendimento do conteúdo pelos estudantes veteranos poderia relacionar-se à disposição para responder o questionário, porque, em geral, estes estudantes trabalham e possuem diferentes atividades profissionais. Parte significativa dos estudantes de graduação não soube responder às questões sobre conhecimentos básicos da genética, indicando que aquelas dificuldades observadas entre estudantes do ensino médio podem se conservar ao longo dos anos da graduação e, portanto, os professores podem carregar consigo compreensões distorcidas ou “*misconceptions*” a respeito de idéias elementares da genética e contribuir assim para a formação de idéias distorcidas em sala de aula.

Em síntese, a análise das pesquisas sobre conhecimentos básicos da genética realizadas em diferentes países, como Alemanha (Lewis, 2004), Inglaterra (Wood-Robinson e col. 1998 e Lewis e Wood-Robinson, 2000), Espanha (Banet e Ayuso 2000, 2002 e 2003 e Orcajo e Aznar, 2005), Turquia (Saka e col. 2006), Austrália (Venville e col. 2005), Holanda (Knippels e col 2005), Índia (Chattopadhyay, 2005) e Brasil (Trivellato 1987; Silveira 2003; Infante-Malaquias e Santos, submetido), mostra claramente que estudantes de 14 a 18 anos de idade compartilham muitas concepções alternativas. Mas quando essas concepções são apreendidas pelas crianças?

1.2 O ENSINO DOS PROCESSOS DE DIVISÃO CELULAR

Na literatura educacional, muitas publicações mostram algumas barreiras conceituais comuns para ensinar os processos de divisão celular, como mostramos anteriormente. Entretanto, poucos pesquisadores “adentram efetivamente na sala de aula” para descrever e sistematizar conhecimentos sobre o desenvolvimento de seqüências didáticas.

No ensino tradicional, muitas vezes, verifica-se a fragmentação do conteúdo como ocorre, por exemplo, quando os processos de divisão celular são ensinados no primeiro ano do ensino médio como parte dos programas de Citologia e Biologia Molecular, enquanto a genética mendeliana é tratada somente no terceiro ano. A escola tradicional enfatiza a aprendizagem de definições dos conceitos e, muitas vezes, a relação entre eles e os níveis de organização são desconsiderados. Por um

lado, as dificuldades encontradas pelos estudantes podem ser explicadas pela homogeneidade do tratamento do conteúdo encontrada em livros didáticos e, indiretamente, na sala de aula. Por outro lado, os resultados das pesquisas educacionais não conseguem alcançar a sala de aula e contribuir para a modificação das práticas dos professores. Isto acontece porque poucos professores conseguem manter-se atualizados em relação a esta literatura específica sobre ensino de ciências.

As pesquisas educacionais realizadas nos últimos trinta anos produziram alguns conceitos e conhecimentos fundamentais para o planejamento de seqüências didáticas. A seguir, foram descritos alguns desses conceitos que devem subsidiar o processo de planejamento de seqüências didáticas pelo professor:

- **Levantamento de conhecimentos prévios e idéias cotidianas:** qualquer seqüência didática deve ser iniciada com um levantamento dos conhecimentos prévios dos estudantes. Esse levantamento cumpre com duas funções principais. Em primeiro lugar, o aluno deve tomar contato com a sua maneira de entender um determinado fenômeno, explicitando as suas compreensões e tornando-se conscientes delas. É como se o professor, a partir de uma situação-problema expusesse o estudante a sua própria maneira de entender e ao conjunto de conhecimentos prévios que ele já possui sobre o assunto. A aprendizagem é tanto mais significativa quanto maior for a capacidade para estabelecer relações coerentes entre o que já sabe e o novo conhecimento que está sendo apresentado. Em segundo lugar, o professor deve conhecer as idéias dos alunos para planejar a seqüência didática e selecionar o conteúdo a fim de promover situações de aprendizagem que acarretem a reflexão e o entendimento das diferenças existentes entre o conhecimento cotidiano ao qual os alunos têm acesso e o conhecimento científico produzido pela comunidade acadêmica (veja, por exemplo, Santos e col., 2004).
- **“Elicitação” ou explicitação:** processo pelo qual os estudantes tornam-se conscientes de suas próprias idéias ou teorias implícitas (Monk e Osborne, 1997), podendo, a partir desse momento, compreender as diferenças entre a sua maneira de explicar um determinado fenômeno e a explicação científica oferecida pelo professor em sala de aula.

- **Metacognição:** “é a atividade mental pelo meio da qual outros processos mentais se tornam alvo de reflexão; refere-se sobre o conhecimento que se tem sobre os próprios processos cognitivos” (Davis e col, 2005). Desta forma ela consiste em um processo de compartilhar com os estudantes estratégias para que desenvolvam a habilidade de aprender a aprender. Em pesquisas realizadas sobre o ensino de Ciências, tem-se verificado a eficiência da utilização de algumas estratégias metacognitivas para a aprendizagem dos alunos. Eles conseguem comparar o que sabiam anteriormente com aquilo que aprenderam e, desta forma, verificar como se modifica sua própria concepção do mundo e as suas representações, isto é, eles podem aprender a aprender, e se tornar co-responsáveis no processo de ensino-aprendizagem (Santos e col. 2004; Koga e col. 2005).
- **Modelagem na ciência e aprendizagem de conceitos científicos:** os modelos são ferramentas muito utilizadas pelos cientistas para a produção de conhecimentos. Através deles os cientistas formulam questões acerca do mundo, descrevem, interpretam e explicam fenômenos. O desenvolvimento do conhecimento científico está relacionado com a produção de uma série de modelos (Greca e Moreira, 2000).
- **Analogias:** um dos mais poderosos mecanismos de elaboração e transmissão de idéias é o uso de analogias. Elas funcionam como pontos de apoio para a compreensão de informações, servindo como meio de tradução de uma idéia abstrata em algo familiar. Assim, os autores vinculam suas concepções sobre herança das características hereditárias, divulgando e reproduzindo o conhecimento cotidiano (Santos, 2005).
- **Narrativas:** na nossa vida cotidiana, usamos frequentemente da narrativa para transmitir informações. E é por meio de narrativas que tradicionalmente são transmitidos conhecimentos de uma geração a outra. Entretanto, os livros didáticos e o discurso do professor têm desvalorizado o gênero narrativo. Os textos de jornais e revistas têm sofrido um processo de economia de linguagem, tornando-se diretos, objetivos, impessoais, enfim econômicos. Em vez de narrar, por exemplo, a história da produção dos conceitos e teorias científicas, os textos didáticos oferecem uma sequência fragmentada de

definições de conceitos científicos. Assim alguns autores defendem o uso de estratégias didáticas baseadas em narrativas, tornando o conteúdo mais atraente. Na Inglaterra, muitos autores têm defendido a valorização do uso do gênero narrativo para ensino de conteúdos científicos, como os Drs. Jonathan Osborne (King's College) e Michael Reiss (Osborne, 2002; Osborne e col., 2004).

Até o presente momento, poucos artigos foram publicados com propostas de aplicação de seqüências didáticas alternativas para o ensino dos processos de divisão celular e genética. Banet e Ayuso (2002) elaboraram uma série de atividades didáticas fundamentadas em princípios construtivas de aprendizagem. A metodologia e a seqüência de ensino visavam à construção de conhecimento, por isto ela se iniciou com a “elicitación” do conhecimento prévio dos estudantes. Considerando esses conhecimentos prévios, foi planejada a seqüência didática que objetivava a reorganização da rede de conhecimentos dos estudantes e a promoção de conflitos cognitivos. A tabela 3 resume o programa de ensino aplicado pelos pesquisadores.

Tabela 3: Síntese do programa construtivista utilizado por Banet e Ayuso, (2002) para ensinar os processos de divisão celular e genética.

Fases	Unidades e atividades de ensino			
	1. Características dos organismos 2. Células, cromossomos, genes 3. Herança biológica 4. Reprodução sexual e mutações			
Iniciação	Planejamento geral para cada uma das unidades: 1) O que sabemos sobre explicações de idéias em relação aos principais objetivos da aprendizagem? 2) O que vamos aprender? Orientação sobre conteúdos			
Desenvolvimento	- Os seres vivos e a reprodução sexual - Herança biológica e diversidade dos seres vivos - Árvores genealógicas Leituras: estrutura celular e herança biológica	- A clonagem dos seres vivos - Transmissão da informação hereditária entre células: mitose e meiose - Teoria cromossômica da herança: cariótipo - Anomalias no número de cromossomos humanos Leitura: cromossomos e genes	- O genoma humano: cromossomos, genes e alelos - Homozigose e heterozigose Leitura: os problemas de lápis e papel Leitura: dominância e herança intermediária. Resolução de problemas - Alimentos transgênicos	- Quantos gêmeos com diferentes características podem ser gerados? - - Diferenças e semelhanças entre irmãos Leitura: causas da diversidade intra-específica, mutações e reprodução sexual Leitura: meio ambiente, herança e diversidade
Aplicação de conhecimentos	- Diversidade em animais - Diferenças entre	- Determinação hereditária do sexo	- De Mendel à descoberta do genoma humano.	- Resistência dos organismos a inseticidas

	irmãos	Questionário para aplicação de idéias	Resolução de problemas: - Investigar a transmissão de características das pessoas - Herança das características - Algumas aplicações da terapia gênica e teste de DNA	Questionário de aplicação de idéias
Revisão da aprendizagem	Planejamento geral para cada uma das atividades: - Análise de conteúdos desenvolvidos - Comparação das novas idéias com conhecimentos iniciais			

Mais recentemente, outros autores espanhóis, Orcajo e Aznar (2005), utilizaram uma metodologia de ensino baseada na resolução de problemas. O ponto de partida deste modelo de ensino é sempre a proposição de problemas ou questões para investigação à semelhança do que os cientistas fazem em seu cotidiano para produzir conhecimento. Essa metodologia de ensino se organiza nas seguintes fases:

- 1) Análise quantitativa do problema
- 2) Emissão de hipóteses
- 3) Projeto da estratégia de resolução
- 4) Resolução
- 5) Análise dos resultados

Orcajo e Aznar (2005) verificaram que o uso de resolução de problemas abertos favorece reflexões metacognitivas, promovendo uma reestruturação evidente na compreensão dos temas estudados pelos estudantes no grupo experimental, como foi descrito anteriormente.

1.3 TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA

Na literatura educacional, existem poucas pesquisas que descrevem estratégias alternativas para ensinar genética e, em nenhuma delas, os autores oferecem subsídios para a compreensão dos processos de transposição didática. De acordo com Chevallard (1991, Apud Marandino, 2004), a transposição didática parte do pressuposto de que o ensino de um determinado elemento do saber só será possível se esse elemento sofrer certas “deformações” para que esteja apto a ser ensinado. Para aproximar as crianças do conhecimento científico, recomenda-se partir de metáforas e

analogias, as quais, muitas vezes, contribuem para a distorção do conhecimento produzido pelos pesquisadores quando é transposto para o contexto da escola. Ao selecionar o conteúdo a ser ensinado para as crianças, o professor pode reproduzir o conteúdo de um livro didático – que é resultado de um processo de transposição – ou oferecer uma interpretação pessoal sobre aquele tema específico, geralmente modificando ou transformando o conhecimento devido à interferência de suas próprias compreensões cotidianas.

As pesquisas que examinam o processo de transposição de saberes descrevem as transformações do conhecimento científico (saber sábio) em conhecimento escolar como distorções. Mais recentemente, principalmente a partir da divulgação da avaliação de livros didáticos pelo Ministério da Educação (Bizzo e col., 2000), foi inaugurada uma linha de pesquisa que se especializou em descrever “erros” e distorções na apresentação de conceitos científicos em livros didáticos. Houve uma profusão de publicações na literatura que descrevem essas distorções, um verdadeiro “caça aos erros”. Contudo, pouco se discutiu a respeito da necessidade de se adaptar ou distorcer o conhecimento científico para ensiná-lo às crianças. Desta maneira, os limites que distinguem “erro” e “adaptação do conteúdo para ensinar às crianças” se tornaram cada vez mais tênues. Para exemplificar a dificuldade em se definir esses limites, traremos à tona a questão do ensino da genética de grupos sanguíneos.

Sob o ponto de vista de um especialista, os grupos sanguíneos do sistema ABO são definidos pela presença ou ausência dos antígenos ABO na superfície das hemácias. Os antígenos do sistema ABO são produtos secundários do gene *ABO*, sendo que os produtos primários são enzimas (glicosiltransferases) capazes de adicionar carboidratos imunodominantes sobre uma estrutura precursora (a substância H), a qual é formada por uma sequência de carboidratos ligados a uma ceramida da membrana da hemácia. São conhecidos mais de 40 alelos que codificam as glicosiltransferases capazes de adicionar os açúcares imunodominantes e formar os grupos sanguíneos A_1 , A_2 , B, A_1B , A_2B e O. Os alelos deste sistema estão localizados no cromossomo 9q34. Entretanto, a expressão do fenótipo ABO depende da expressão de um outro gene autossômico (*FUT 1*, locus 19q13.3), o qual segrega independentemente dos alelos A, B e O. O gene *FUT 1* (ou gene *H*), apresenta dois alelos: H e h, sendo o alelo h extremamente raro em homozigose. Nos indivíduos homozigotos e heterozigotos para o alelo dominante (HH ou Hh), existe a produção de α -2-L-fucosiltransferase, uma enzima que age sobre uma substância precursora transformando-a no antígeno eritrocitário H. Por ação dessa fucosiltransferase, a L-

fucose liga-se a D-galactose terminal e, desse modo, a substância precursora se transforma em antígeno H.

Se os indivíduos com o genótipo HH ou Hh tiverem herdado o gene A, este determinará a produção da enzima α -N-acetil-D-galactosaminiltransferase, que catalizará a ligação de N-fucose do antígeno H. Em outras palavras, uma proporção variável de antígeno H será transformada em antígeno A. Nos indivíduos com genótipo HH ou Hh que herdam o gene B, esse gene determinará a produção de α -D-galactosiltransferase, que catalizará a ligação de outra D-galactose à D-galactose terminal a qual esta ligada a L-fucose do antígeno H. Em consequência, uma proporção variável de antígeno H será convertida em antígeno B. Por ser o alelo O inerte ou amorfo, ou seja, esse alelo não forma um produto gênico, o antígeno H não sofre transformação nos indivíduos com genótipo HH ou Hh que são homozigotos OO e, portanto, do grupo O. Nos raríssimos indivíduos homozigotos para o alelo h não existe produção de α -2-L-fucosiltransferase. Por isso, independentemente de eles apresentarem ou não a α -N-acetil-D-galactosamiltransferase e (ou) a α -D-galactosiltransferase, isto é, qualquer que seja o genótipo do sistema ABO, os homozigotos hh não produzem os antígenos desse sistema, pois não possuem a substância precursora. As hemácias desses indivíduos aparentam ser do grupo O, pois não aglutinam quando suspensas em anti-soros anti-A, anti-B ou anti-A,B (Beiguelman, 2003).

Ao transformar esse conhecimento para adequá-lo ao ensino médio, existe um processo de transposição ou mediação didática. Neste caso, esse processo pode ser realizado pelos autores de livros didáticos e pelo professor em sala de aula, quando o conhecimento do livro é distorcido ou simplificado para entendimento dos alunos. Por exemplo, a explicação da genética dos grupos sanguíneos do sistema ABO é bastante diferente daquela apresentada anteriormente em um livro didático, como mostra o excerto a seguir: *“Os antígenos do sistema ABO, designados por aglutinogênio A e aglutinogênio B, são glicoproteínas da membrana das hemácias; os anticorpos correspondentes são aglutinina anti-A e a aglutinina anti-B. Conforme os aglutinogênios que possuem, as pessoas são classificadas em quatro grupos sanguíneos: A, B, AB e O. Os grupos sanguíneos do sistema ABO são determinados por uma série de três alelos múltiplos (I^a , I^b e i), que podem ocupar alternativamente um loco gênico em cromossomos homólogos, formando pares (I^a – determina a produção de aglutinogênio A; I^b – determina a produção do aglutinogênio B e i – não determina a produção de aglutinogênios)”* (Brito e col., 2000)

Ao transformar novamente esse conhecimento, agora para ensiná-lo para crianças do ensino fundamental, pode-se novamente reduzir esse conhecimento, eliminando termos técnicos e idéias sofisticadas como, por exemplo, aglutinogênios, glicoproteínas, hemácias, anticorpos, alelos múltiplos e cromossomos homólogos. Na vida cotidiana, as crianças vivenciam situações em que se menciona a existência de tipos sanguíneos diferentes e muitos pais comunicam a elas quais são os seus tipos sanguíneos. De alguma maneira, as crianças constroem imagens e associam esses grupos a outras idéias, formando uma determinada compreensão desse assunto.

Ao explicar esse tópico na escola, o professor poderia dizer que “*genes são responsáveis pela produção de proteínas diferentes que podem estimular a produção de anticorpos, essas proteínas formam os diferentes tipos sanguíneos do sistema ABO*”. Nesta simples informação, existe um conjunto de adaptações e distorções do conhecimento que poderia ser reconhecidas como “erro”. Por exemplo, os alelos do sistema ABO formam enzimas responsáveis pela adição de grupos de açúcar em uma substância precursora – um mucopolissacarídeo, que se liga a superfície da membrana da hemácia, conhecido pelo nome de substância H. Toda vez que o professor reduz e adapta o conhecimento para ensiná-lo às crianças, necessariamente existe uma distorção que pode ou não ser reconhecida como “erro”. A pergunta emergente dessa situação é se a transformação intencionalmente realizada pelo professor deve ser reconhecida como “erro” ou como “adaptação do conteúdo”.

Como exposto, existem inúmeras lacunas na produção acadêmica no campo educacional e longe estamos de compreender por que as pessoas em geral dificilmente compreendem o conhecimento científico. Algumas pesquisas realizadas em diferentes culturas examinaram a compreensão de crianças e de jovens sobre a herança de características, ou abordaram especificamente os processos de divisão celular. Nesta pesquisa-ação, a intenção é investigar as compreensões de estudantes de 12 a 15 anos de idade sobre os processos de divisão celular utilizando duas abordagens diferentes: uma que replica o método utilizado por Lewis e colaboradores (2000 e 2004) e outra, de natureza qualitativa, que explora essas mesmas compreensões através das narrativas produzidas pelos alunos. Além disso, foi elaborada uma sequência didática fundamentada em alguns dos elementos apresentados anteriormente e a sua aplicação foi documentada para reflexão sobre o processo de transposição didática.

2 OBJETIVOS

Os objetivos deste trabalho são os seguintes:

- Descrever as idéias sobre os processos de divisão celular em uma amostra de 283 estudantes do ensino fundamental;
- Elaborar, aplicar e documentar uma seqüência didática para ensinar os processos de divisão celular.
- Analisar o processo de aprendizagem dos estudantes usando abordagens quali e quantitativas.

3 MÉTODOS

3.1 AMOSTRA

Nesta pesquisa, foram envolvidos 283 alunos de uma escola particular em São José dos Campos, no estado de São Paulo. Estes alunos estavam distribuídos em quatro turmas de sexta-série (11 e 12 anos de idade) e cinco turmas de oitava-série (14 e 15 anos) do Ensino Fundamental. Ao longo de quatro meses, o professor, que neste caso também atuava como pesquisador coletou os dados e aplicou uma seqüência didática como parte integrante do planejamento do curso de ciências. Na grade curricular dessa escola, são destinadas três aulas semanais de 50 minutos de ciências para a sexta-série (7º ano), enquanto as turmas de oitava-série (9º ano) possuem apenas uma aula semanal para tratar de aspectos específicos da matéria. As outras duas aulas de ciências das turmas de oitava-série são ministradas por outros professores especialistas (química e física). Embora a escola tenha indicado a adoção de um livro didático para o uso dos estudantes, em relação à seqüência didática usada neste trabalho este livro não foi tomado como referência.

3.2 PROCEDIMENTOS

Na perspectiva metodológica desta pesquisa, o professor atua como pesquisador, tomando seu próprio fazer como objeto de pesquisa e reflexão. Para planejar a seqüência didática, o professor/pesquisador realizou extensa revisão bibliográfica com a intenção de conhecer as descrições das idéias dos estudantes e das barreiras existentes para aprendizagem de um conteúdo específico (neste caso, os processos de divisão celular). Sabendo que essas barreiras diziam respeito à localização do material hereditário, à redução do número de cromossomos para formação de gametas e o entendimento da idéia de variabilidade genética, o professor/pesquisador planejou uma seqüência de atividades que pudessem modificar as compreensões cotidianas dos estudantes, aproximando-as de uma compreensão científica desses processos.

Para cumprir com essa finalidade, o professor/pesquisador realizou intensa reflexão sobre o processo de transposição didática, pensando sobre como transformar o conhecimento acadêmico, produzido entre geneticistas, em conhecimento escolar compreensível aos estudantes. Evidentemente que os conceitos e as teorias científicas não podem ser ensinados na escola da mesma maneira como o são em um curso de

graduação universitária. Ao simplificar as idéias científicas para adequá-las ao ensino fundamental, o professor/pesquisador tende a modificar o significado dessas idéias, por vezes, reconceptualizando-as. A descrição do processo de transposição didática é parte integrante, portanto, dos métodos desta pesquisa.

Considerando a literatura, o professor/pesquisador definiu três grandes barreiras conceituais a serem enfrentadas em seu planejamento para aproximar os estudantes da compreensão científica dos processos de divisão celular. Ele não pretendeu ensinar todos os aspectos da genética tradicionalmente tratados nesse nível de ensino (leis de Mendel, padrões de herança, genética humana, entre outros), optando por oferecer aos alunos um conjunto de conhecimentos sobre alguns princípios e idéias. Trata-se, pois, de oferecer condições para que os alunos transponham algumas barreiras à aprendizagem da genética e dos processos de divisão celular.

Para ensinar noções sobre o conceito de variabilidade genética aos estudantes, o professor/pesquisador utilizou a herança de grupos sanguíneos como exemplo. As crianças convivem diariamente com idéias sobre grupos sanguíneos na vida cotidiana. Muitas vezes, os pais conversam a respeito da necessidade de doar sangue a um amigo ou parente e, neste caso, eles fazem referência a um tipo sanguíneo qualquer (dos sistemas ABO e RH). O professor/pesquisador utilizou o exemplo dos grupos sanguíneos para mostrar aos estudantes a variabilidade determinada pela mera combinação de alguns fatores genéticos – os alelos – durante a meiose. Neste caso, a intenção não foi tratar a variabilidade genética a partir dos conceitos de mutação e recombinação, mas oferecer a eles a noção de variabilidade como sinônimo de “combinação de informações”, uma alternativa à compreensão cotidiana de “mistura de sangue”. Claramente, o professor/pesquisador transformou um determinado conceito acadêmico para ensiná-lo às crianças de tal maneira a utilizar como apoio para aprendizagem os conhecimentos que circulam na vida cotidiana.

Para descrever as idéias dos estudantes, as modificações em relação ao seu desempenho e compreensões sobre os processos de divisão celular, foram utilizadas duas abordagens distintas: o levantamento de dados quantitativos através de questionários e a comparação de narrativas criadas a partir de um roteiro pré-estabelecido de questões. O levantamento das idéias dos estudantes e a avaliação de seu desempenho antes e após a aplicação da sequência didática foram realizados por meio de um questionário dividido em duas partes: a seção de “células” e a seção de “reprodução”. Este instrumento era composto por uma combinação de questões de múltipla escolha e questões dissertativas, as quais avaliavam a compreensão dos

estudantes sobre: a natureza da informação genética, como esta informação é transferida de uma célula para outra dentro de um mesmo organismo e através das gerações. Este questionário foi elaborado originalmente por Jenny Lewis e Wood-Robinson (2000) e aplicado em uma amostra de 482 estudantes ingleses de 14-16 anos de idade, sendo posteriormente replicado na Índia por Ansuman Chattopadhyay (2004) envolvendo, neste caso, uma amostra de 289 estudantes, como descrito na introdução da presente dissertação.

O levantamento de um dado quantitativo possibilita a comparação do desempenho dos estudantes não somente antes e após um período de aprendizagem, como também realizar comparações de desempenho envolvendo jovens de diferentes culturas. É possível aferir, por exemplo, a percentagem de estudantes que respondem adequadamente a uma mesma questão. Contudo, não é possível descrever a compreensão desses estudantes sobre os assuntos a partir do dado, pois eles podem responder adequadamente uma questão, mas não compreender o conteúdo do modo esperado.

Para descrever a compreensão dos estudantes sobre os processos de divisão celular foi utilizada outra estratégia, a elaboração de narrativas através de redações temáticas. Esta estratégia assemelha-se à realização de entrevistas semi-estruturadas, tradicionalmente utilizadas em pesquisa educacional. As entrevistas clínicas utilizam amostras pequenas e pouco significativas, pois as entrevistas demandam muito tempo para serem realizadas, transcritas e analisadas. As redações viabilizam a descrição das compreensões cotidianas dos estudantes de maneira semelhante às entrevistas, evitando, por um lado, o processo de transcrição e mantendo, por outro, a originalidade das idéias dos estudantes.

Em vez de entrevistar os alunos, estes foram convidados a elaborar uma redação a partir de um roteiro de questões. Eles deveriam imaginar que haviam se transformado em um ser pequeno o suficiente para adentrar em um espermatozóide, um óvulo ou ainda uma célula da pele; relatando, em detalhes, o que veriam dentro destas células e como estaria organizado o material hereditário. Essa estratégia já foi utilizada por Santos e colaboradores (2004; 2005 e 2006) para revelar as idéias de estudantes do ensino fundamental sobre diferentes questões científicas. Além disso, alguns autores têm defendido o uso de narrativas no ensino de Ciências como já foi descrito na introdução deste trabalho.

A sequência didática deve ser entendida, neste contexto de pesquisa-ação, como um conjunto de atividades que atendem a dois objetivos diferentes: ela é parte

do cotidiano dos estudantes e integra o currículo escolar e, paralelamente, serve como objeto de pesquisa e reflexão. Essa sequência de ações realizadas pelo professor/pesquisador deve ser cuidadosamente planejada e documentada, por isso é preferível que essa sequência abranja um recorte do conteúdo programático. Nesta pesquisa, uma mesma sequência de atividades sobre a localização do material hereditário, noções sobre os processos de divisão celular e variabilidade genética foi planejada e aplicada em turmas de sexta e oitava séries. Embora o conteúdo das aulas fosse o mesmo, o tempo destinado para desenvolver cada uma das aulas foi mais extenso para as turmas de sexta série. A seguir, descreveremos detalhadamente como foi realizado o levantamento prévio das idéias cotidianas dos estudantes (pré-teste e pós-teste) e o desenvolvimento da sequência didática.

3.2.1 Levantamento das idéias dos estudantes

A coleta das idéias prévias dos estudantes foi realizada com duas abordagens diferentes: a aplicação de um questionário que permite quantificar o desempenho dos estudantes antes e após o processo de ensino e a elaboração de redações, estratégia que explora a compreensão dos estudantes de maneira qualitativa à semelhança das entrevistas semi-estruturadas.

Reprodução do método de Lewis:

O método elaborado por Jenny Lewis e Wood-Robinson (2000) foi utilizado para levantamento prévio da compreensão dos estudantes em uma amostra de 94 alunos de oitava-série (três turmas) e, posteriormente, foi novamente aplicado como “pós-teste” depois do desenvolvimento da sequência didática. Este questionário foi traduzido integralmente e, embora tenha sido aplicado originalmente com estudantes de 16 anos de idade, as perguntas são relativamente simples e facilmente entendidas pelos estudantes de 14 e 15 anos de idade. Ao serem convidados a responder as perguntas deste questionário, os estudantes demonstraram dúvidas em relação aos conceitos que eram desconhecidos por eles, mas não houve nenhuma dificuldade em relação ao entendimento das perguntas propriamente ditas.

Uma única alteração foi realizada a fim de facilitar tanto o entendimento do estudante quanto a avaliação das respostas: a figura que representa uma célula original que formará um óvulo continha três cromossomos resultantes da primeira divisão meiótica no questionário de Lewis e Wood-Robinson (2000). Ela foi substituída por

uma figura contendo dois pares de cromossomos homólogos no questionário modificado aplicado nesta pesquisa. Ao responderem essa questão, os alunos teriam de assinalar a alternativa referente à afirmação de que o óvulo deveria conter a metade da informação da célula original que o formou. Em seguida, reproduzimos o instrumento traduzido e modificado, o qual foi aplicado pelo professor/pesquisador como pré e pós-teste na amostra citada.

Questionário Lewis – modificado para 8º série

Divisão Celular

Este questionário contém duas partes

Parte 1: perguntas sobre divisão celular para o crescimento e reparo

Parte 2: perguntas sobre divisão celular para a produção de células sexuais

Parte 1

Em animais, as células da pele dividem-se várias vezes para produzir muitas células de pele.

Células originais da pele

Se as células originais da pele contiverem os cromossomos mostrados no diagrama acima, quantos cromossomos você acha que uma nova célula resultante da divisão dessa célula deverá conter?

Observe os diagramas abaixo e marque a alternativa que mostre quantos cromossomos devem ser encontrados em uma nova célula da pele. Explique sua resposta:

	_____	☐
	_____	☐
	_____	☐
Não sei	_____	☐

Explicação: _____

A célula original e a nova célula formada a partir dela deverão conter informação genética idêntica ou diferente?

Marque uma das respostas abaixo e justifique sua escolha.

- () a mesma
() diferente
() não sei

Justificativa: _____

Considere as partes do corpo listadas abaixo. Marque a alternativa que mostre os tecidos onde as células se dividem da mesma maneira que as da pele descritas anteriormente.

Músculo: () sim () não () não sei

Testículos: () sim () não () não sei

Ovários: () sim () não () não sei

Estômago: ☐ sim ☐ não ☐ não sei

Rim: ☐ sim ☐ não ☐ não sei

Você acha que este tipo de divisão celular que promove o crescimento dos tecidos também ocorre nas plantas? *Explique.*

☐ sim ☐ não

Justificativa _____

Parte 2

As células também se dividem para produzir células sexuais, ou seja, óvulos e espermatozoides.

Célula original que se dividirá para formar novas células sexuais

Considere que uma célula contendo os cromossomos mostrados no diagrama acima originará novas células sexuais. Quantos cromossomos você acha que um óvulo formado a partir daquela célula original deverá conter?

Observe o diagrama acima e escolha a alternativa que mostre quantos cromossomos deverão ser encontrados num óvulo.

☐ o dobro do número original

☐ o número original

☐ a metade do número original

☐ não sei

Explicação: _____

O óvulo e a célula original do qual ele se formou devem conter informação genética igual ou diferente? *Explique.*

☐ a mesma informação genética

☐ informação genética diferente

Justificativa: _____

Considere as partes do corpo listadas abaixo. Marque a alternativa que mostre os tecidos onde as células se dividem da mesma maneira que as células que formam espermatozoides e óvulos, descritas anteriormente:

Músculo: ☐ sim ☐ não ☐ não sei

Testículos: ☐ sim ☐ não ☐ não sei

Ovários: ☐ sim ☐ não ☐ não sei

Estômago: ☐ sim ☐ não ☐ não sei

Você acha que este tipo de divisão celular que forma células sexuais ocorre também entre as plantas? *Explique.*

☐ sim ☐ não

Justificativa: _____

Reprodução

Este questionário contém três partes

Parte 1

Em animais, quando o espermatozoide fertiliza o óvulo, uma nova célula é formada. Este processo é conhecido por reprodução sexual e a nova célula dará origem a um novo animal.

Diagrama de um óvulo contendo três cromossomos

Considerando o diagrama acima, escolha a alternativa que mostre quantos cromossomos deverão ser encontrados num espermatozóide. Explique.

- ☐ seis
☐ cinco
☐ três
☐ dois
☐ não sei

Justificativa: _____

Observe o diagrama acima e marque a alternativa que mostre quantos cromossomos devem ser achados na nova célula fertilizada. Explique.

- ☐ seis
☐ cinco
☐ três
☐ dois
☐ não sei

Justificativa: _____

Parte 2

Alguns animais simples podem se reproduzir assexuadamente, ou seja, sem a combinação de células descritas acima. Por que você acha que um animal precisaria se reproduzir sexualmente, sendo que alguns deles também podem se reproduzir assexuadamente?

Marque a alternativa que mostra se você tem alguma idéia sobre isso. Explique.

- ☐ eu não tenho idéia
☐ eu tenho alguma idéia

Justificativa: _____

Parte 3

Plantas também precisam se reproduzir

Marque a alternativa que mostra como é a reprodução entre as plantas. Explique.

- ☐ reprodução sexual
☐ reprodução assexuada
☐ ambas: reprodução assexuada e sexual
☐ não sei

Justificativa: _____

Células

Esta parte do questionário diz respeito aos diferentes tipos de células de uma mesma pessoa (Roberto).

espermatozoides neurônios células da bochecha

Responda as seguintes questões e explique suas respostas.

(a) Em duas células da bochecha de Roberto, a informação genética deve ser:

- ☐ a mesma ☐ diferente ☐ não sei

Justificativa: _____

(b) Em duas células de Roberto: uma da bochecha e outra nervosa, a informação genética deve ser:

- ☐ a mesma ☐ diferente ☐ não sei

Justificativa: _____

(c) Em duas células de Roberto: uma da bochecha e um espermatozóide, a informação genética deve ser:

☐ a mesma ☐ diferente ☐ não sei

Justificativa: _____

(d) Em dois espermatozoides de Roberto, a informação genética deve ser:

☐ a mesma ☐ diferente ☐ não sei

Justificativa: _____

Apêndice: responda as questões

Seqüência de tamanhos de estruturas celulares

Os seis termos biológicos listados abaixo são todos parte de sistemas vivos.

Marque os conceitos que você já ouviu falar:

☐ Células

☐ Cromossomos

☐ Gene

☐ DNA

☐ Organismo

☐ Núcleo

Dentre os conceitos que você assinalou acima, organize esses conceitos em ordem de tamanho dentro dos quadrados abaixo, começando pelo maior.

Maior

--

--

--

--

--

Menor

Estas questões são sobre diferentes seres vivos

(a) Que seres abaixo podem ser considerados vivos?

Árvores ☐ sim ☐ não

Mamíferos ☐ sim ☐ não

Samambaias ☐ sim ☐ não

Vírus ☐ sim ☐ não

Fungos ☐ sim ☐ não

Bactérias ☐ sim ☐ não

Insetos ☐ sim ☐ não

(b) Quantas células você acha que cada organismo acima possui?

Árvores ☐ nenhuma ☐ uma ☐ muitas ☐ não sei

Mamíferos ☐ nenhuma ☐ uma ☐ muitas ☐ não sei

Samambaias ☐ nenhuma ☐ uma ☐ muitas ☐ não sei

Vírus ☐ nenhuma ☐ uma ☐ muitas ☐ não sei

Fungos ☐ nenhuma ☐ uma ☐ muitas ☐ não sei

Bactérias ☐ nenhuma ☐ uma ☐ muitas ☐ não sei

Insetos ☐ nenhuma ☐ uma ☐ muitas ☐ não sei

(c) Quais dos organismos listados abaixo contêm cromossomos?

Árvores ☐ sim ☐ não ☐ não sei

Mamíferos ☐ sim ☐ não ☐ não sei

Samambaias ☐ sim ☐ não ☐ não sei

Vírus ☐ sim ☐ não ☐ não sei
 Fungos ☐ sim ☐ não ☐ não sei
 Bactérias ☐ sim ☐ não ☐ não sei
 Insetos ☐ sim ☐ não ☐ não sei

(d) Quais dos organismos listados abaixo contêm informação genética?

Árvores ☐ sim ☐ não ☐ não sei
 Mamíferos ☐ sim ☐ não ☐ não sei
 Samambaias ☐ sim ☐ não ☐ não sei
 Vírus ☐ sim ☐ não ☐ não sei
 Fungos ☐ sim ☐ não ☐ não sei
 Bactérias ☐ sim ☐ não ☐ não sei
 Insetos ☐ sim ☐ não ☐ não sei

Termos Biológicos

Neste questionário, nós estamos interessados em conhecer suas idéias sobre os seguintes termos biológicos: genes, DNA, núcleo, cromossomos, alelos e informação genética.

Assinale a alternativa que você considera mais adequada.

Genes

Eu nunca ouvi falar de genes ()
 Eu já ouvi falar de genes, mas não sei realmente o que são ()
 Eu ouvi falar de genes e sei alguma coisa sobre eles ()

Responda:

(a) Onde, no seu corpo, os genes são encontrados?

(b) Do que o gene é feito?

(c) Por que os genes são importantes?

DNA

Eu nunca ouvi falar de DNA ()
 Eu já ouvi falar de DNA, mas não sei realmente o que é ()
 Eu ouvi falar de DNA e sei alguma coisa sobre ele ()

Responda:

(a) Onde, no seu corpo, o DNA é encontrado?

(b) Por que o DNA é importante?

Núcleo

Eu nunca ouvi falar de núcleo ()
 Eu já ouvi falar de núcleo, mas não sei realmente o que é ()
 Eu ouvi falar de núcleo e sei alguma coisa sobre ele ()

Responda:

(a) Onde o núcleo é encontrado?

(b) O que o núcleo contém?

(c) Qual é a função do núcleo?

Cromossomos

Eu nunca ouvi falar de cromossomos ()
 Eu já ouvi falar de cromossomos, mas não sei realmente o que são ()
 Eu ouvi falar de cromossomos e sei alguma coisa sobre eles ()

Responda:

(a) Onde os cromossomos são encontrados?

(b) Do os cromossomos são feitos?

(c) Por que os cromossomos são importantes?

Alelos

Eu nunca ouvi falar de alelos ()

Eu já ouvi falar de alelos, mas não sei realmente o que são ()

Eu ouvi falar de alelos e sei alguma coisa sobre eles ()

Responda:

(a) Como você descreveria os alelos?

Informação genética

Eu nunca ouvi falar de informação genética ()

Eu já ouvi falar de informação genética, mas não sei realmente o que é ()

Eu ouvi falar de informação genética e sei alguma coisa sobre ela ()

Responda:

(a) O que você entende por “informação genética?”

Elaboração de redações a partir de um roteiro definido de questões:

Os alunos de quatro turmas de sexta-série (129 alunos) e de duas turmas de oitava-série (60 alunos) foram convidados a elaborar redações, com o máximo de detalhamento possível, sobre como eles imaginam o interior de uma célula germinativa, um espermatozóide e uma célula somática. A situação-problema proposta consiste em um exercício de abstração e imaginação por meio do qual os estudantes explicitam sua compreensão sobre a localização da informação genética, sobre os processos de divisão celular e fecundação.

Essas redações foram elaboradas a partir de uma orientação na qual foram inseridas algumas questões sobre as quais os estudantes deveriam pensar para redigir sua redação, como se os alunos tivessem contando uma história para outra pessoa fazendo uso do gênero narrativo. As redações elaboradas antes do processo de ensino foram comparadas com aquelas criadas após a aplicação da sequência didática. A análise das redações foi qualitativa e descritiva, como será apresentado oportunamente. Em seguida, o roteiro de questões oferecido aos estudantes e as instruções para elaboração das redações antes da aplicação da sequência didática foram integralmente reproduzidos.

Roteiro para a redação antes da aplicação da sequência didática

Imagine que você tivesse um tamanho que lhe permitisse entrar em um espermatozóide e em um óvulo. Você deve contar, nesta redação, o que você veria ao longo dessa inusitada viagem, com a maior riqueza de detalhes possível. Utilize todos os conhecimentos, as idéias ou imagens que você aprendeu na escola, na televisão ou lendo algum livro. Tente revelar nessa sua história a maneira como você imagina uma célula por dentro e como é a informação genética transmitida dos pais para os filhos. Para compor a sua história, propomos abaixo algumas questões para orientar o seu raciocínio. Na sua redação, tente respondê-las, mas não se preocupe em colocá-las em ordem. Elas servirão apenas como roteiro para sua história. Se quiser, ilustre a redação com desenhos.

Se você pudesse ficar muito pequeno...

- O que você veria dentro do espermatozóide e do óvulo?
- Quais seriam as diferenças (caso elas existam) entre o espermatozóide e o óvulo?
- O espermatozóide e o óvulo carregam a mesma informação hereditária? Como você imagina que seja esta informação? Onde ela estaria localizada no espermatozóide e no óvulo?
- Você já ouviu falar de gene, DNA e cromossomos? Existem genes no espermatozóide e no óvulo? E DNA? E cromossomos? (Caso você acredite que existam, desenhe essas estruturas na célula).
- Vários espermatozóides são produzidos pelos homens. Todos eles são iguais, ou seja, carregam a mesma informação hereditária? Explique.
- Se você pudesse entrar em uma célula da pele ou de qualquer outra parte do corpo (fígado, músculo, estômago), a informação genética dessas células seria a mesma presente no espermatozóide? Explique.
- Quando um espermatozóide fecunda um óvulo, o que acontece com a informação hereditária? Explique.
- Como uma única célula origina um indivíduo com bilhões de células? Explique.
- Este passeio que você fez no interior do espermatozóide e do óvulo lhe permite responder por que irmãos, filhos de um mesmo casal, são diferentes?

3.2.2 A sequência didática

A sequência didática foi composta por sete unidades didáticas. Em turmas de sexta-série, essas unidades foram desenvolvidas em nove aulas de cinquenta minutos; já nas turmas de oitava série, as unidades foram aplicadas em sete aulas de mesma duração. Essas unidades abarcaram a realização do pré-teste, o desenvolvimento das aulas e a realização do pós-teste, conforme a tabela a seguir:

Tabela 4: Seqüência de aulas aplicadas às turmas de sexta e oitava séries.

<i>Unidades didáticas</i>	<i>Atividade</i>	<i>N° de aulas na 6ª série</i>	<i>N° de aulas na 8ª série</i>
1	<i>Apresentação da proposta e levantamento das idéias dos estudantes (elicitação).</i>	1	1
2	<i>Aula expositiva-dialogada sobre a localização da informação genética com uso de modelos.</i>	1	1
3	<i>Aula expositivo-dialogada sobre os processos de divisão celular com uso de simulações.</i>	1	1
4	<i>Aula expositivo-dialogada sobre noções de variabilidade genética com base no exemplo da segregação de grupos sanguíneos, com utilização de modelos.</i>	1	1
5	<i>Aula prática sobre extração de DNA da banana.</i>	1	1
6	<i>Revisão e discussão sobre dúvidas.</i>	3	1
7	<i>Pós-teste – nova elaboração das redações e aplicação do questionário.</i>	1	1
<i>Total</i>		9	7

O principal objetivo da seqüência didática foi oferecer informações para que os alunos conseguissem responder ao questionário elaborado por Lewis e para que eles também pudessem superar as principais barreiras conceituais descritas na literatura a respeito da aprendizagem dos processos de divisão celular, substituindo, assim, os seus conhecimentos cotidianos por idéias mais próximas das científicas. A elaboração da seqüência didática considerou as discussões existentes na literatura educacional sobre alguns princípios metodológicos, os quais foram descritos na introdução deste trabalho: a elicitação, a metacognição, o uso de modelos e as analogias, a simplificação e a redução de conceitos científicos e a transposição didática.

Em seguida, apresentaremos detalhadamente o conteúdo, os materiais e as estratégias utilizadas em cada uma das aulas, as quais foram sintetizadas em um texto descritivo, o qual, por sua vez, serviu como roteiro da ação e da narrativa desenvolvida pelo professor/pesquisador em sala de aula. Essa documentação atende ao objetivo de oferecer subsídios para o entendimento de como o conteúdo da genética é transposto ou adaptado com o objetivo de adequá-lo ao tempo destinado ao desenvolvimento das aulas e à faixa etária do público alvo. O número de conceitos tratados foi reduzido, bem como o detalhamento dos procedimentos dos cientistas para produção desse conhecimento. A fala do professor foi planejada para tornar-se

uma narrativa que permite ao estudante compreender a relação entre algumas estruturas (célula, núcleo, cromossomo, DNA e gene) e entender aspectos básicos dos processos de divisão celular, como a redução do número de cromossomos na meiose e a manutenção da informação genética durante a mitose.

Para cada aula foi desenvolvido um roteiro contendo uma descrição da fala do professor e seu procedimento em sala de aula à semelhança do que fazem os roteiristas de teatro. Esse texto descritivo sobre como o professor/pesquisador deveria atuar foi elaborado anteriormente à sua execução, sofrendo alguns ajustes em virtude de demandas específicas do cotidiano escolar. A transcrição da fala do professor durante a realização das aulas foi realizada na primeira pessoa do singular como se ele estivesse se dirigindo aos estudantes. Algumas fotografias dos modelos utilizados para ensinar esses conteúdos foram utilizadas para ilustrar os materiais criados especificamente para essas aulas. Em seguida, serão reproduzidos os roteiros elaborados para dirigir a ação do professor em cada unidade didática.

Aula I: Apresentação da sequência didática aos alunos

Nesta aula foram apresentados aos alunos tanto o conteúdo a ser tratado como também a sequência didática para que eles estivessem conscientes de cada etapa do processo que se iniciaria e aplicados os instrumentos de avaliação prévia de conhecimentos. Os alunos revelaram para si mesmos os seus conhecimentos e idéias sobre o a transmissão da informação genética, processo este denominado “elicitación” na literatura.

Roteiro da aula de apresentação da sequência didática

Na televisão, revistas e jornais são divulgados conhecimentos sobre a genética. Quem já ouviu falar em teste de paternidade? *[Levante a dúvida e aguarde a manifestação dos alunos]*. E sobre os termos DNA, genes e células-tronco? *[Para cada uma das perguntas, espere alguns instantes para que os alunos possam lembrar de algo e acompanhar o raciocínio do professor]*. Hoje iniciaremos o estudo de alguns conceitos e idéias básicas da genética e este processo ocorrerá em aproximadamente nove aulas.

Na primeira aula, vocês responderão a um questionário [ou elaborarão uma redação] para avaliarmos os seus conhecimentos sobre esse assunto. Tendo em vista que vocês ouvem muitas informações providas dos meios de comunicação como a televisão, internet e revistas, ou mesmo de seus pais, certamente vocês já devem ter algumas explicações e idéias sobre a

transmissão das características de pais para filhos. Nossa intenção, nesta primeira aula, é revelar essas idéias para que vocês tenham consciência delas.

Depois dessa avaliação inicial, vocês terão algumas aulas sobre idéias básicas da genética e aprenderão onde está contida a informação genética, como as células se reproduzem e porque as pessoas são diferentes umas das outras. Em uma dessas aulas, vocês aprenderão como extrair DNA de uma banana. Depois de ler alguns textos informativos e discutirmos as dúvidas, vocês farão o mesmo questionário [ou redação] para investigarmos o quê vocês aprenderam nesse tempo.

Ao longo desse processo, realizaremos uma pesquisa sobre como aprendemos um determinado assunto à semelhança de uma pesquisa científica. Vocês compararão as idéias e explicações que vocês possuíam sobre a genética antes e após a sequência de aulas. Depois de vivermos esse processo, eu prepararei uma exposição sobre os resultados para mostrar quanto vocês aprenderam ou não ao longo desse período de aprendizagem, e discutiremos quais foram os empecilhos e dificuldades encontrados para aprender. Grande parte das dificuldades dos alunos ao assimilarem o conhecimento científico está relacionada a uma forma de entender esses assuntos aprendidos da televisão que, muitas vezes, é inadequada. E isso prejudica muito a aprendizagem de algumas idéias na escola.

Como será feita a avaliação final? Aconselho vocês a se preocuparem em “aprender a aprender”. Isso é mais importante do que o conceito do boletim; porque, quando aprendemos algo de maneira comprometida, isso se torna parte de nossas vidas. Além das atividades em sala de aula, vocês farão algumas avaliações como este questionário que não terão conceito, são atividades que estimulam o raciocínio e facilitam a aprendizagem. Para estabelecermos o seu conceito de boletim, será realizada uma avaliação seguindo os padrões estipulados pela escola.

1ª etapa (A) : apresentação do questionário da Lewis para três turmas de 8ª série.

Nesta aula, vocês responderão a um questionário para levantarmos o que vocês já sabem sobre este assunto. Tentem responder a este questionário da melhor maneira possível, explicando todas as questões. Deixem em branco as perguntas que vocês não saibam responder. Lembre-se que, o que importa, é refletir sobre as questões, anotando o que vocês sabem sobre o assunto e o que não sabem. É importante que vocês tentem responder usando o conhecimento que aprenderam na escola e em outros momentos da vida, como quando vocês assistem televisão. Não tenho a intenção de verificar se as respostas estão certas ou erradas, mas revelar os conhecimentos que vocês já têm sobre esse assunto e prepará-los para o que vão aprender daqui por diante. Esse questionário não terá um conceito, mas ele servirá de parâmetro para analisarmos o progresso de vocês.

1ª etapa (B): duas classes de 8ª série e quatro turmas de 6ª série

Nesta aula, vocês farão uma redação, como se vocês estivessem contando uma história a outra pessoa. Pretendo levantar todo o conhecimento que vocês têm sobre algumas idéias básicas da genética. Para isso, vocês receberão um roteiro para elaborar as redações. Tentem criar uma história a partir das perguntas. Essa redação tem a finalidade de revelar as idéias que vocês já possuem sobre a genética. Vocês devem imaginar a seguinte situação: se vocês conseguissem ficar

tão pequenos a ponto de entrarem em um espermatozóide e um óvulo... O que vocês veriam lá dentro? Não se importem em dar “respostas certas”, mas de trazer à tona as imagens que têm em suas cabeças, todo o conhecimento que vocês já possuem sobre o assunto e não tenham medo de explicar isso com suas próprias idéias. Eu preciso conhecer essas idéias para entendê-las e, nas aulas, oferecer oportunidades para que vocês consigam estabelecer as diferenças entre a visão que vocês têm da genética e o que os pesquisadores e cientistas pensam sobre isso. Vocês podem fazer desenhos, usar analogias e quem sabe dizer assim: “eu acho que deve ser parecido com isso ou eu lembro da figura que vi no programa de televisão”. Vocês podem contar como imaginam o interior do espermatozóide e como deve ser a informação genética. Vamos começar? Vou ler o roteiro para vocês.

Aula II: Localização do material genético

O objetivo desta aula foi aproximar os estudantes da compreensão científica sobre a localização do material hereditário, como está este material dentro da célula e como ele é transmitido de pais para filhos, bem como o conceito de gene, DNA e cromossomo. Para ilustrar os conceitos foram utilizados materiais confeccionados pelo próprio professor/pesquisador. Segue a descrição detalhada das falas e ação do professor em sala de aula.

Roteiro da 2ª aula sobre a localização do material hereditário

Nosso objetivo, nesta aula, é compreender onde estão localizadas as informações hereditárias que são transmitidas dos pais para os filhos. Iremos “entrar em uma célula da pele, em um espermatozóide e um óvulo” e tentar entender onde estão as informações genéticas nestas células. Para ilustrar isso, utilizarei alguns modelos para que vocês possam entender como é o interior das células. Vocês deverão anotar as informações desta aula, fazendo esquemas e desenhos sobre o que será apresentado.

Localização do material hereditário:

Todo nosso corpo é formado por bilhões de células que se originaram de uma célula original fruto da fecundação do óvulo pelo espermatozóide.

Todos vocês já ouviram falar em células? *[Aguarde alguns instantes para os alunos refletirem].*

Quem nunca ouviu falar em células? *[Verifique se alguém levanta a mão].*

Quem já ouviu falar em espermatozóide? E em óvulo?

Nós não conseguimos enxergar as células, porque elas são pequenas. Temos de utilizar um microscópio que amplia a imagem dos objetos cerca de 100 a 1000 vezes, ou um microscópio ainda mais poderoso, o microscópio eletrônico, que amplia uma imagem cerca de 5 mil a 500 mil

vezes. Hoje nós não veremos as células usando microscópios. Em vez disso, mostrarei alguns modelos das células para que vocês possam entender a idéia antes de utilizar um microscópio em laboratório.

Mostrarei também dois modelos de célula. O modelo é uma montagem que fiz para ilustrar como deve ser uma célula, para ajudar vocês a imaginarem como ela é e o que tem em seu interior. Observem esses dois modelos. Um deles é um modelo que representa uma célula da pele vista em um microscópio que amplia cerca de 100 vezes a imagem e esse outro é uma ampliação de 5.000 vezes.

O que vocês percebem de diferente nestes dois modelos?

[Tempo para os alunos se expressarem]

Então o que veríamos dentro de uma célula da pele através de um microscópio óptico (pequeno aumento)? Veríamos a membrana plasmática, que seleciona o que entra e o que sai da célula, atuando como “um porteiro”. Veríamos o citoplasma, líquido gelatinoso, formado de água e proteínas, que facilita a ocorrência de reações e veríamos também o núcleo. É no núcleo que estão armazenadas as informações hereditárias.

Figura 6: modelo de célula criado pelo professor/pesquisador

Agora se pudéssemos olhar esta célula com um microscópio eletrônico, veríamos outras estruturas que não são observadas com microscópio óptico. Existem muitas organelas que executam diferentes funções dentro das células como, por exemplo, a mitocôndria, responsável por produzir energia para a manutenção da vida. Veríamos organelas com a função de digestão celular, chamadas de lisossomos e outras, como uma organela com a função de secreção e armazenamento, chamada de Complexo de Golgi. Não se preocupem em decorar esses nomes. No momento, nosso foco será compreender onde está localizada a informação hereditária.

Figura 7: modelo de célula vista em microscópio eletrônico

Observem cuidadosamente o núcleo da célula. É aqui que encontramos as informações transmitidas dos pais para os filhos. O que existe dentro do núcleo? Vocês já ouviram falar em DNA e teste de paternidade? Já ouviram falar de genes? E em cromossomos?

Explicarei a vocês o que são essas estruturas e o que elas têm a ver com a transmissão de características. Imaginem que esse modelo represente uma célula da pele. Ao tomamos banho todos os dias e quando nos expomos ao sol, nossa pele pode “descamar”, não é mesmo? Nosso cabelo também cresce, não é? Na pele existem células que estão se reproduzindo para formar novas células. Essas células acumulam queratina e morrem, formando essa camada protetora de pele morta. Embaixo dessa pele morta, existe uma camada de células da pele que estão se multiplicando e formando novas células da pele. Ora, como essas células conseguem se multiplicar?

Contarei isso a vocês, prestem atenção e sigam comigo a história sobre o que acontece com a célula da pele. Mostrarei tudo isso usando esses modelos que nos ajudam a imaginar esses processos.

[Mostrar o modelo de DNA dentro do núcleo - um emaranhado de lã].

Figura 8: Modelo de núcleo com DNA descondensado

Figura 9: Modelo de cromossomo

Imaginem que esse novelo de lã aqui dentro do núcleo seja o DNA. Ele é uma substância química, um tipo de ácido orgânico. Nossa informação genética está no formato de um código químico “escrito” nessas cadeias de DNA. Imaginem, por exemplo, que houvesse um código químico no trecho que estivesse relacionado à produção da queratina do cabelo e da pele.

Normalmente, quando a célula não está se dividindo, esse DNA aqui está descondensado, ou seja, não está enrolado. Assim, ele pode ser “lido” e as informações presentes no DNA são transformadas pela célula em proteínas que fazem o corpo funcionar. Esse DNA normalmente está sendo lido e traduzido em proteínas, mas essa produção cessa quando a célula entra em

divisão celular. O DNA sofre uma condensação (se enrola), formando estruturas visíveis no microscópio óptico, as quais são chamadas de cromossomos (“cromo” significa cor e “soma”, corpos). Os cromossomos são filamentos que vemos no microscópio quando a célula está se dividindo. Vocês irão ver isso em uma animação na próxima aula.

Quando a célula da pele, por exemplo, se reproduz e forma duas outras novas células, o DNA que estava descondensado passa a se condensar, formando os cromossomos. No microscópio óptico, não conseguimos enxergar o DNA descondensado, somente quando ele se enrola e forma os cromossomos que se tornam visíveis. Se observarmos uma célula da nossa pele quando ela está se dividindo, iríamos ver 23 pares de cromossomos. As duas células filhas, formadas após a reprodução da célula original, também possuem 23 pares de cromossomos. Todas as células do nosso corpo, aliás, possuem 23 pares ou 46 cromossomos, exceto as células sexuais - o espermatozóide e o óvulo.

No DNA estão todas as informações para as nossas características escritas na forma de um código químico. Cada um desses códigos está associado à produção de uma proteína do nosso corpo. Vocês sabem: queratina do cabelo é uma proteína, existem proteínas e pigmentos na pele que dão cor a ela, pigmentos que dão cor ao olho também são proteínas, na boca existe uma proteína chamada amilase que digere o amido que tem no pão e no macarrão. Cada código responsável pela produção de um tipo de proteína é chamado de gene. Nosso DNA é composto por aproximadamente 30.000 genes.

Observem o nosso modelo de cromossomo e de DNA. O gene é um pedaço do DNA – como se fosse uma receita em um livro de receitas.

Voltando à questão da reprodução das células, pergunto a vocês: as duas células-filhas formadas a partir de uma célula da pele devem ter a mesma informação genética?

Para uma célula se reproduzir e formar duas células-filhas, ela precisa duplicar a informação química que está dentro dela no seu núcleo. Ou seja, ela precisa duplicar o DNA para depois dividir as cópias entre as duas células-filhas. Todas as células da pele que são formadas a partir de uma célula original devem conter a mesma informação genética.

Então, para uma célula se reproduzir e formar duas novas células, ela precisa duplicar o DNA que está dentro do núcleo. Primeiro, o DNA está descondensado e sendo lido pela célula. Quando ela começa a se dividir, o DNA é duplicado e condensado, formando os cromossomos. Ao observá-los no microscópio, temos de entender que um cromossomo é composto por duas cópias de um mesmo filamento de DNA (um filamento de DNA e sua cópia idêntica).

[Vou mostrar para vocês com a ajuda do nosso modelo].

E o que acontece no momento da divisão celular? Como a informação genética é dividida para as células-filhas? Observem esse modelo de cromossomo, como vocês dividiriam esse cromossomo para que, após a divisão celular, cada célula-filha contivesse a mesma informação genética da célula-mãe? *[Os alunos devem expressar suas idéias].*

Resumindo o que vimos até aqui: no núcleo das células existe uma substância química chamada DNA. O DNA é formado por aproximadamente 30.000 genes. Antes da célula se dividir para formar duas células-filhas, esse DNA no núcleo é duplicado e enrolado. Nas células em divisão celular, conseguimos enxergar, no microscópio óptico, estruturas coloridas, que são os cromossomos, formados por DNA enrolado. Cada cromossomo é formado por uma molécula de

DNA e uma réplica. As células da pele estão se reproduzindo e se dividindo para formar novas células que possam substituir aquelas mortas. Nas células da pele dos seres humanos existem 46 cromossomos organizados em 23 pares.

Agora, vamos pensar no espermatozóide e no óvulo? O que essas células teriam de diferente da célula da pele? Tentem imaginar como é o interior de um espermatozóide e de um óvulo. Vou utilizar os modelos dessas células para ilustrar como elas são.

Figura 10: modelo de um espermatozóide e de um óvulo

Essas células possuem informação genética? E cromossomos? E DNA? E genes?

Sim, pois a informação genética é formada de DNA, o qual pode apresentar-se na forma de cromossomos caso as células estejam se dividindo. O DNA é composto por genes.

Mas eu pergunto a vocês: a informação genética presente aqui no óvulo e no espermatozóide é igual e informação genética da célula da pele?

Se olhássemos um espermatozóide no microscópio, iríamos perceber que ele tem muitas mitocôndrias ou “usinas de energia” que servem para movimentar aquele flagelo. E tem um núcleo com DNA, mas ele contém apenas metade dos filamentos de DNA de uma célula do corpo e, portanto, metade dos cromossomos. No núcleo do espermatozóide existem 23 cromossomos e não 23 pares de cromossomos.

Como vocês explicariam isso? Quantos cromossomos devem existir em um óvulo?

Durante a fecundação, o núcleo de um espermatozóide entra no óvulo. Os núcleos com seus DNA se juntam. Mais ou menos desse jeito que vou mostrar a vocês com auxílio desses modelos de células. Dessa maneira, os 23 cromossomos presentes no espermatozóide se juntam aos 23 cromossomos presentes no óvulo, formando uma célula com 46 cromossomos, que irá se reproduzir e se dividir, como a célula da pele, e formar bilhões de outras células.

[Mostrar todo o processo utilizando os modelos].

Tarefa

Como lição de casa vocês deverão:

- Montar em uma folha sulfite um modelo de célula colorido, mostrando: membrana celular, núcleo, DNA, cromossomos e genes.
- Fazer o desenho de como vocês imaginam o processo de divisão celular para formar células com igual número de cromossomos, e as células que possuem metade do número de cromossomos.

Aula III: Noções sobre Mitose e Meiose

O objetivo desta aula foi aproximar os estudantes da compreensão científica dos processos de divisão celular, mitose e meiose, abordando aspectos básicos desses processos. Para ilustrar essa aula, foram utilizados modelos de cromossomos confeccionados pelo professor/pesquisador e foi solicitada a ajuda dos alunos para a simulação do comportamento dos cromossomos durante os processos de divisão. Segue a descrição detalhada das falas e da ação do professor em sala de aula.

Roteiro da 3ª aula sobre os processos de divisão celular

[Fazer um resumo do que foi trabalhado na outra aula]

[Recolher a tarefa de casa]

Aprendemos que a informação hereditária está localizada no núcleo das células. Nesta aula, estudaremos os processos de divisão celular. Para isto, precisamos de alguns voluntários que irão representar as células. De novo, vou pedir a vocês que façam esquemas e desenhos do que aprenderam nesta aula.

Noções sobre Mitose e Meiose

Uma célula da pele se reproduz e se divide para formar duas células-filhas. Mas como ocorre essa divisão? Como o material genético que está no núcleo da célula se duplica e posteriormente é dividido para as células-filhas? Para entender isso, simularemos o comportamento dos cromossomos em uma célula da pele que formará outra célula da pele e precisaremos do auxílio de dois alunos, cada aluno representará uma célula.

Imaginem que a nossa célula tenha somente dois cromossomos (um par) em vez dos 23 pares existentes nas células dos seres humanos. Considere que um deles foi transmitido pelo pai e outro pela mãe.

[Nesta hora um dos alunos ajudantes segura em mãos um par de cromossomos].

Antes da divisão celular ocorre a duplicação dos cromossomos, formando as cromátides, assim, cada cromossomo será formado por duas cromátides.

[O professor entrega uma cópia de cada cromossomo para o aluno ajudante, esta cópia será colada na outra cromátide formando um cromossomo, assim o aluno passa a segurar um par de cromossomos homólogos].

Figura 11: Modelo de cromátide

Figura 12: Modelo de cromossomos homólogos

Agora que já houve a duplicação do DNA e a formação dos cromossomos, a célula pode se dividir. Para isso, as cromátides dos cromossomos se separam e são divididas, sendo que cada cromátide irá ser deslocada para uma das células filhas. Cada uma das células-filhas carrega o mesmo número de cromossomos da célula que lhe deu origem, porém nas células-filhas o DNA não está duplicado.

[Nesta hora o outro aluno ajudante segura um par de cromátides, estando assim dois alunos simulando as células filhas, cada um com um par de cromossomos].

[A simulação de divisão celular deverá ser repetida para maior entendimento dos alunos].

A formação de células reprodutivas, o espermatozóide e óvulo, acontece da mesma maneira que nas células do corpo?

Não, porque o espermatozóide e o óvulo são células que possuem metade do número de cromossomos das outras células do corpo. Para formar essas células reprodutivas, a divisão deve ser diferente, deve reduzir o número de cromossomos à metade.

Para simular essa divisão precisarei de quatro voluntários.

Imaginem que essa célula (um dos alunos) contenha um par de cromossomos, um que foi transmitido pelo pai dessa pessoa e outra da mãe.

[O aluno ajudante segura um par de cromossomos].

Antes que haja a divisão celular, esses filamentos de DNA que formam os cromossomos já foram duplicados. Cada cromossomo aqui representado possui duas cópias do DNA ou duas cromátides.

[Neste momento o professor entrega uma cópia de cada cromossomo para o aluno que cola uma na outra, formando um par de cromossomos com duas cromátides cada um].

O que aconteceria com os cromossomos se fosse uma divisão de células da pele, ou seja, se ocorresse uma mitose? Haveria separação das cromátides. Aí está a diferença entre esta divisão celular que forma as células reprodutivas, os espermatozóides e óvulos (meiose) e a que forma outras células do corpo (mitose): ao invés da separação das cromátides, há separação dos dois cromossomos de cada par, formando duas células, cada uma com um cromossomo (do pai ou da mãe); reduzindo, dessa maneira, o número de cromossomos à metade. Na célula original havia dois cromossomos homólogos e nas novas células um cromossomo em cada célula. Porém a divisão não acaba aí. Depois que os cromossomos são separados, ocorre outra etapa da divisão celular, que consiste na separação das cromátides de cada cromossomo, formando assim quatro células-filhas com apenas uma cromátide em cada uma delas, metade da informação genética presente na célula original.

[Nesta hora haverá quatro alunos, cada um com uma cromátide, simulando as quatro células resultantes da meiose].

Assim se formam os espermatozóides e os óvulos.

E o que ocorre com os genes?

Como vocês já sabem os genes estão nos cromossomos.

[Nesta hora mostrar os modelo de genes nos cromossomos].

Vocês também já sabem que os cromossomos estão aos pares dentro da célula, cada par é composto de um cromossomo que foi transmitido pelo pai e outro pela mãe. Assim, se os genes estão nos cromossomos, eles também estão aos pares.

[Nesta hora mostrar os pares de cromossomos com os pares de alelos].

O que ocorre com os genes na hora da duplicação do DNA e durante a divisão celular? No momento da duplicação do DNA, os genes - que são pedaços do DNA - também se duplicam.

[Mostrar que a duplicação do DNA implica na duplicação dos genes]

Vamos supor que cada gene esteja relacionado a uma característica. Na verdade, para a cor de pele, por exemplo, vários genes estão relacionados e a determinam. Isso acontece para a maior parte das nossas características, como a cor de olho, peso, altura. Para simplificar, vou utilizar o sistema sanguíneo ABO para mostrar para vocês como ocorre a determinação dessa característica.

A determinação do tipo sanguíneo é bastante complexa e envolve vários genes. Para utilizar o sistema ABO como exemplo, vou simplificar muito as informações. Considerem que existam três tipos de genes - ou alelos - que determinam esse grupo sanguíneo. O alelo A forma uma substância do sangue chamada de A. O gene do tipo B forma a substância B. E o alelo O forma uma substância inerte.

Aqui são os tipos de genes – alelos - que a pessoa pode ter.

Alelo A – substância A

Alelo B – substância B

Alelo O – forma uma substância inerte.

Temos 23 pares de cromossomos em cada célula do nosso corpo, exceto no espermatozóide e no óvulo. Em cada par de cromossomos, um deles foi transmitido pelo nosso pai e outro pela nossa mãe.

[Solicite a um aluno que representa uma célula do sangue. Ele deve segurar um par de cromossomos homólogos. Pergunte a ele o seu tipo sanguíneo ou suponha que ele tenha o tipo sanguíneo AB]

Se uma pessoa possui o tipo sanguíneo AB, isto significa que ela carrega hemácias ou células do sangue recobertas pelas substâncias A e B. Essas substâncias são produzidas a partir das informações contidas nos genes que formam o DNA. Que genes essa pessoa com tipo sanguíneo AB deve conter em seu DNA? Lembre-se que um dos alelos (um tipo de gene) foi transmitido pelo seu pai e o outro pela sua mãe.

Suponha uma outra pessoa que apresente o tipo sanguíneo O. Se ela produz somente a substância inerte, isso significa que ela recebeu o alelo O de seu pai e o outro alelo O da sua mãe.

[Cole os modelos de genes nos cromossomos da outra célula].

Imaginem a seguinte situação: que acontece quando uma hemácia se reproduz para formar outras duas hemácias.

[Mostrar com auxílio dos modelos que a célula recoberta por AB forma duas células idênticas].

[Mostrar com auxílio dos modelos que a célula recoberta por OO forma duas células idênticas].

Imaginem o que acontece quando célula do testículo ou ovário dessa pessoa se divide para formar os espermatozoides e óvulos. Como vocês sabem, todas as células do corpo carregam a mesma informação genética.

[Mostrar os alelos do indivíduo AB nos cromossomos e estes se dividindo para formar dois espermatozoides A e dois espermatozoides com o alelo do tipo B]

[Mostrar que a outra célula do indivíduo OO forma óvulos com alelo O].

O que acontece quando aqueles óvulos são fecundados pelos espermatozoides?

[Mostrar um espermatozoide que carrega o alelo A fecundando o óvulo portando o alelo O – perguntar: quantos cromossomos essa nova célula formada depois da fecundação irá conter? E quais tipos de genes? Como será o tipo sanguíneo dessa pessoa?].

Na próxima aula, vou explicar novamente esses processos para vocês.

Tarefa:

- Utilizando desenhos e modelos de células para ilustrar suas idéias, vocês terão de responder as seguintes questões em casa:

- 1) Por que dois irmãos, filhos dos mesmos pais, são diferentes?
- 2) Como as células que carregam uma mesma informação genética podem ter funções diferentes (por exemplo, células da pele e do estômago)?

Aula IV: Noções sobre Variabilidade Genética

Nesta aula foram abordadas algumas noções sobre a variabilidade genética. Para isso foi proposta uma questão aos alunos para que eles refletissem sobre o assunto: “Por que dois irmãos, filhos dos mesmos genitores, são tão diferentes?” Para a ilustração da aula foram utilizados modelos de cromossomos confeccionados pelo professor/pesquisador, que também simulou a produção de espermatozóides e óvulos, bem como a fecundação e a variedade de combinações resultantes do processo de divisão celular. Segue o roteiro desta aula.

Roteiro da 4ª aula sobre noções de variabilidade

Nesta aula, discutiremos por que filhos de um mesmo casal são diferentes. Essas diferenças ou variações encontradas entre as pessoas são produzidas por mecanismos mais complexos do que aqueles mostrados para vocês. Não trataremos, por exemplo, como essa variação é gerada nas informações contidas no DNA (mutação) ou processos mais complicados que ocorrem durante a duplicação do DNA. Por isso, essa aula dará a vocês noções sobre a variabilidade genética. De fato, vocês já foram convidados a pensar nesta questão em casa ao realizar a atividade proposta na aula passada. *[Solicitar a dois ou três alunos que leiam suas respostas e recolher a tarefa dos demais]*

Noções sobre a variabilidade genética – o exemplo dos grupos sanguíneos

Imagine um casal que terá em breve um filho. Suponha que pudéssemos entrar no corpo desse casal e observar as informações genéticas existentes dentro do espermatozóide do pai e dentro do óvulo da mãe. Essas células reprodutivas carregam metade da informação genética presente nas outras células do corpo. Na espécie humana, temos 23 pares de cromossomos em cada célula do corpo e metade dessa informação nos espermatozóides e óvulos. Os cromossomos podem ser observados quando as células estão se dividindo, e eles são, na verdade, duas cópias de DNA idênticas que estão condensadas ou enroladas. Como havia dito para vocês, cada cromossomo ou DNA é composto por milhares de genes. Ao todo, são aproximadamente 30.000 genes distribuídos nos nossos filamentos de DNA. As características de um indivíduo são o resultado de um processo de combinação da informação genética transmitida pelos seus pais. A combinação de alelos maternos e paternos dá como resultado a variação das características de uma pessoa.

Proponho que estudemos a variação existente nos grupos sanguíneos para entender como ocorre essa combinação dos alelos – diferentes formas dos genes. Para começar, determinaremos os tipos de óvulos e espermatozóides que um casal poderá formar para analisarmos quais são as características que os filhos desse casal poderiam ter. Como já sabemos, existem simplificadamente três tipos de genes – alelos - que determinam o grupo sanguíneo ABO. O alelo

A forma indiretamente uma substância tipo A. O gene do tipo B forma a substância B. E o alelo O forma uma substância inerte.

Suponha que esses são os tipos de genes que uma pessoa pode ter.

Alelo A – substância A

Alelo B – substância B

Alelo O – forma uma substância inerte.

Se uma pessoa contiver o tipo sanguíneo AB, isto significa que ela carrega hemácias recobertas por substâncias A e B. Pensem sobre os alelos que devem ser encontrados no DNA dessa pessoa.

[Mostrar na lousa um exemplo. Um homem que possui tipo de sanguíneo AB, fazer o desenho de uma célula do corpo que sofre meiose, dando origem a quatro espermatozoides. Solicitar aos alunos que digam quais são os alelos presentes nas células somáticas, mostrando que as células reprodutivas possuem metade dessa informação. Mostre os alelos presentes nas hemácias, na célula que forma os espermatozoides e em cada um dos espermatozoides formados após a meiose]

Figura 13: Modelo de cromossomos homólogo, mostrando os alelos dos sistemas ABO e RH.

Suponha que uma mulher tenha grupo sanguíneo O. Se ela produz apenas a substância inerte, então ela deve carregar um alelo O que foi herdado de seu pai e outro alelo O herdado de sua mãe.

[Mostrar na lousa os cromossomos com os alelos dessa mulher]

Imagine que aquele homem com tipo sanguíneo AB se case com uma mulher com tipo sanguíneo OO. Quais são os tipos sanguíneos que os filhos desse casal poderiam ter?

[Mostrar os alelos do indivíduo AB nos cromossomo, ilustrando como são formados os dois espermatozoides que carregam o alelo A e os outros dois espermatozoides com o alelo B].

[Mostrar que a outra célula do indivíduo OO forma quatro óvulos, todos com alelos O].

O que acontece quando estes óvulos são fecundados pelos espermatozoides?

[Mostrar um óvulo carregando um filamento de DNA com um alelo O sendo fecundado por um espermatozoide contendo o alelo A. Pergunte quantos cromossomos a célula resultante da fecundação deve possuir, quais são os alelos encontrados no zigoto e em quantos cromossomos. Enfim, pergunte qual é o tipo sanguíneo que a criança deve possuir].

[Mostrar todas as possibilidades de grupos sanguíneos que os filhos desse casal poderiam ter.]

Para mostrar a vocês como pode ser gerada variabilidade genética apenas pela combinação de alelos, analisaremos a partir desse momento outro sistema de substâncias encontradas nas hemácias: o sistema Rh. Vocês já ouviram falar que algumas pessoas possuem tipo sanguíneo O e Rh⁺ ou AB e Rh⁻. De novo, essa característica diz respeito a uma substância que foi inicialmente estudada em uma espécie de macaco (*Macaca mullata*). O Rh deriva da palavra Rhesus, que é o nome pelo qual são conhecidos esses macacos. Algumas pessoas possuem em seu sangue essa substância Rh e outras não possuem. Quando as pessoas que não possuem a substância Rh tomam contato com ela, são produzidos anticorpos contra essa substância, destruindo a hemácia. As mães que possuem tipo sanguíneo Rh⁻ (negativo) não possuem a substância Rh. Caso elas tenham filhos com grupo sanguíneo diferente do tipo Rh⁻, o feto poderá ser prejudicado quando seu sangue entrar em contato com a corrente sanguínea da mãe, assim o sangue do filho induz a produção de anticorpos pela mãe, ficando esta imunizada. Ao ter um segundo filho do tipo Rh⁺, a mãe produz anticorpos que podem destruir as hemácias do filho, acarretando uma doença chamada doença hemolítica do recém-nascido. Por isso, é importante fazer a tipagem do grupo sanguíneo das mães durante o pré-natal.

Até aqui trabalhamos apenas com um par de cromossomos e uma característica. Mas os seres humanos têm 23 pares de cromossomos e inúmeras características. Seria impossível apresentar a vocês todas as combinações dos alelos de nossos cromossomos. Para ilustrar apenas o processo de combinação das informações genéticas, analisaremos o que acontece com genes encontrados em dois pares de cromossomos, com ajuda de nossos modelos *[Disponha os modelos para os alunos na lousa]*.

Imagine um homem com tipo de sanguíneo AB, Rh⁺. Esse homem possui dois alelos neste primeiro par de cromossomos, os alelos A e B. E neste outro par de cromossomos, temos um outro alelo que produz aquela substância Rh. Cada forma de um gene possui informação para um tipo de proteína do nosso corpo.

[Mostrar na lousa o tipo de sanguíneo do pai: colocar os alelos A e B em um par de cromossomos e, em outro, os alelos Rh⁺]

Considere que uma mulher tenha tipo sanguíneo O, Rh⁻.

[Mostrar na lousa os modelos de pares de cromossomos com alelos O e Rh⁻]

Suponha que o homem com tipo sanguíneo AB, Rh⁺ tenha um filho com essa mulher com tipo sanguíneo O, Rh⁻.

[Mostrar os alelos do indivíduo AB, Rh⁺ são divididos e combinados na formação dos espermatozoides, gerando dois espermatozoides com alelos A e Rh⁺, e outros dois espermatozoides com alelos B e Rh⁺]

[Mostrar que o indivíduo OO forma óvulos com alelos O e Rh⁻].

O que acontece quando os óvulos são fecundados pelos espermatozoides?

[Mostrar um espermatozoide A e Rh⁺ fecundando o óvulo O e Rh⁻. Pergunte aos alunos quantos cromossomos essa célula gerada pela fecundação possui, assim como, quantos genes e quais são os alelos e características que podem ser encontradas neste filho do casal].

[Mostrar as COMBINAÇÕES de alelos e das características] – Falar que todos os filhos serão Rh⁺, pois recebem um alelo do pai que produz a substância Rh mesmo que o outro alelo seja diferente. O primeiro filho desta mulher não terá doença hemolítica do recém nascido, mas o

segundo poderá apresentar a anemia devido ao ataque dos anticorpos produzidos pela mãe contra a substância Rh presente nas hemácias dos filhos.

[INCLUIR MAIS UM PAR DE CROMOSSOMOS].

Que tal incluirmos mais um par de cromossomos nas células? Para facilitar, não mostraremos os alelos presentes no DNA dessa pessoa.

[Colocar mais um par de cromossomos nas células do homem que darão origem aos espermatozoides (XY) e óvulos (XX). Retomar tudo de novo para mostrar mais uma vez as combinações possíveis de serem observadas nas características das crianças].

ESTUDAMOS AS COMBINAÇÕES DOS ALELOS DO SISTEMA ABO E DO SISTEMA RH. Esses são apenas dois genes – com cinco alelos diferentes, dois do sistema Rh e três do sistema ABO – entre os 30.000 existentes no nosso genoma. Imaginem quantas combinações são possíveis de serem realizadas com esses trinta mil genes?

Tarefa:

Como lição de casa vocês deverão:

- Utilizar os desenhos realizados ao longo das aulas e anotações, além dos textos de apoio, para estudar para a avaliação. Na próxima aula, iremos extrair DNA de uma banana e vou mostrar um trecho de um vídeo sobre divisão celular.

Aula V: “Extração de DNA da Banana”

Nesta aula foi realizada a atividade de extração do DNA da banana. Nas turmas de sexta-série a professora realizou o experimento como se fosse uma demonstração, e os alunos observaram e participaram fazendo perguntas. Nas turmas de oitava-série, os alunos se agruparam para realizar esse experimento a partir de um roteiro. O protocolo de extração de DNA foi adaptado de uma versão disponível em um “site” da internet:

(http://educar.sc.usp.br/experimentoteca/biologia/8dna.extracao_al.pdf). O roteiro de aula está transcrito logo a seguir. Uma estratégia alternativa para desenvolver essa aula seria solicitar aos alunos que descobrissem, pesquisando em “sites” da internet uma maneira de extrair o DNA de um ser vivo.

Roteiro da 5ª aula sobre extração de DNA

Vocês irão extrair o DNA de uma banana. Como vocês sabem, todos os seres vivos possuem DNA! A extração de DNA de células consta fundamentalmente de três etapas:

1. Ruptura (física e química) das membranas celulares para liberação do material genético;
2. Desmembramento dos cromossomos em seus componentes básicos: DNA e proteínas;
3. Separação do DNA dos demais componentes celulares.

Vocês terão um protocolo com orientações sobre como proceder para extrair o DNA. Vou ler para vocês e explicar os passos, depois cada grupo deve realizar a atividade e responder as questões propostas. Para vocês refletirem, gostaria de perguntar o seguinte: Como vocês imaginam que seja o DNA? Vocês acham que vão observar aquela forma de dupla-hélice?

[Permitir que os alunos manifestem suas expectativas em relação aos resultados do experimento]

Aula VI: Revisão do conteúdo, leitura de texto de apoio e avaliação

Em uma ou até três aulas, o professor/pesquisador realizou a revisão de todo conteúdo ensinado ao longo das aulas e esclareceu as dúvidas levantadas pelos estudantes. Algumas ilustrações foram elaboradas para facilitar esse processo de revisão e um texto de apoio, baseado no roteiro das aulas anteriormente descrito, foi oferecido aos alunos para que eles pudessem se preparar para as avaliações. Uma delas consistiu na aplicação do pós-teste e outra foi realizada na “semana de provas bimestrais” da escola, sendo esta composta por duas questões de múltipla escolha e quatro questões dissertativas, seguindo padrão definido pela direção da instituição.

3.2.3 – Procedimento para análise dos resultados

Em seguida, serão apresentados detalhadamente os procedimentos utilizados para análise das respostas dos estudantes às perguntas do questionário modificado de Lewis. Este procedimento foi desenvolvido pelos autores desta pesquisa, pois no artigo original de Lewis (2004) não existe uma descrição detalhada sobre como os pesquisadores ingleses analisaram as respostas dos alunos, o que inviabiliza a reprodução deste método. Posteriormente, apresentaremos os procedimentos para análise das redações elaboradas pelos alunos e as categorias criadas para classificar as compreensões dos estudantes antes e após o período de aprendizagem.

ANÁLISE DO QUESTIONÁRIO DE LEWIS

O questionário modificado foi aplicado antes e após a sequência didática envolvendo uma amostra de 94 alunos. Os alunos que não responderam os dois questionários foram eliminados da amostra. As respostas dos alunos foram corrigidas e listadas e, para facilitar a mensuração e comparação de dados, estabelecemos um determinado número de pontos para cada resposta. As respostas dos alunos

consideradas “corretas” e que correspondiam a uma compreensão científica daquele tópico receberam pontuação maior do que aquelas que se aproximavam mais das concepções cotidianas, chamadas tradicionalmente como “incorretas”. As aspas nos termos “correto” ou “incorreto” se devem ao fato de que o conteúdo não foi ensinado aos estudantes durante o pré-teste, portanto, eles não poderiam saber o que era correto ou não, simplesmente porque o conteúdo não havia sido apresentado a eles. As avaliações prévias tiveram a intenção de preparar os alunos para discutirem aqueles tópicos em sala de aula. Além disso, o pré-teste também serviu para mensurar quanto e o que os alunos conseguem responder antes de aprender um determinado assunto.

Na primeira parte do questionário que versava sobre divisão celular e reprodução das células, o critério para pontuação foi o seguinte: quando o aluno não respondeu ou respondeu inadequadamente, a sua resposta recebeu zero. As respostas “certas” receberam um ponto enquanto aquelas corretas e justificadas receberam dois pontos.

Na parte do questionário que avaliava o conhecimento sobre a relação de tamanho de células, os alunos que consideraram a seguinte seqüência receberam seis pontos: organismo, núcleo, cromossomo, DNA e gene. Ao acertar cinco posições, o aluno recebeu cinco pontos e assim sucessivamente. O aluno que não conseguiu estabelecer corretamente a posição de nenhuma dessas estruturas recebeu zero.

Em relação aos termos biológicos, as respostas oferecidas pelos estudantes foram classificadas segundo sua aproximação com o conhecimento científico, recebendo valores maiores aquelas que dificilmente são apreendidas na vida cotidiana. Dessa maneira, a pontuação para cada uma das perguntas sobre as estruturas celulares seguiu a padronização descrita na tabela 5.

Tabela 5: Pontuação atribuída às respostas dos estudantes sobre as estruturas celulares.

Genes	
a) Onde no seu corpo os genes são encontrados?	
Respostas	Pontuação
No corpo todo	0
Nas células	1
Nas células sexuais	1
No núcleo	2
No DNA	3
Nos cromossomos	4
b) Do que o gene é feito?	
Respostas	Pontuação
Não sei	0
Células	0
Informação genética	1
DNA	2
Parte do DNA	3
c) Por que os genes são importantes	
Respostas	Pontuação

Não sei e respostas incorretas	0
Contém DNA	1
Determinação das características	2
Transferência de informação	3
Produção de proteínas	4
DNA	
a) Onde o DNA é encontrado?	
Respostas	Pontuação
Não sei	0
Em todo corpo	1
Nas células	2
No núcleo	3
b) Por que o DNA é importante?	
Respostas	Pontuação
Não sei	0
Determinação das características	1
Contém a informação genética	2
Núcleo	
a) Onde o núcleo é encontrado?	
Respostas	Pontuação
Não sei	0
Nas células	1
b) O que o núcleo contém?	
Respostas	Pontuação
Não sei	0
DNA, cromossomos e genes	1
Informação genética	2
DNA	3
Cromossomos	4
c) Qual a função do núcleo	
Respostas	Pontuação
Não sei	0
Conter informações	1
Controlar a célula	2
Proteger o material genético	3
Cromossomos	
a) Onde os cromossomos são encontrados?	
Respostas	Pontuação
No corpo todo ou não sei	0
DNA	1
Célula	2
Núcleo	3
b) Do que os cromossomos são feitos?	
Respostas	Pontuação
Não sei	0
Genes	1
Informação genética	2
DNA	3
DNA condensado	4
c) Por que os cromossomos são importantes?	
Respostas	Pontuação
Não sei	0
Contém DNA	1
Determinação das características	2
Contem a informação genética	3
Alelos	
a) Como você descreveria os alelos:	
Respostas	Pontuação
Não sei	0
Parte do cromossomo	1
Tipos diferentes de genes	2
Informação genética	
O que você entende por informação genética?	
Respostas	Pontuação
Não sei	0
Toda informação	1
Determinação das características	2
Transferência de informação	3
Todos os genes de um indivíduo	4

Estabelecidos os critérios para pontuação, as avaliações prévias e posteriores à sequência didática foram corrigidas e uma planilha com os resultados de cada um dos alunos das turmas de oitava série foi elaborada. No capítulo referente aos resultados, mostraremos o desempenho dos alunos comparativamente no pré e pós-testes para cada uma das partes do questionário modificado de Lewis. Além disso, mostraremos a pontuação total de cada turma e de cada um dos alunos antes e depois do aprendizado.

ANÁLISE DAS REDAÇÕES

As redações produzidas pelos estudantes antes e após a aplicação da sequência didática foram lidas e os trechos mais significativos foram grifados. Essas idéias e representações sobre estruturas celulares e o processo de divisão celular foram agrupadas em diferentes categorias que demonstram níveis de compreensão distintos. É importante ressaltar que essas categorias de classificação das idéias dos estudantes não são discretas. Dessa maneira, alguns estudantes podem apresentar características de diferentes grupos. As redações produzidas antes da aplicação da sequência didática foram agrupadas nas seguintes categorias:

Tabela 6: Categorias criadas para classificação do nível de conhecimento dos alunos no pré-teste

Perfil	Pré-teste Descrição das características das redações dos estudantes produzidas antes da aplicação da sequência didática
C0	Os estudantes agrupados neste perfil não revelaram em suas produções uma compreensão clara sobre a organização da célula e suas estruturas; não conseguiram explicar como a informação hereditária é transmitida ou como está organizada dentro do espermatozóide ou óvulo. Isto se deve à produção de um texto que narra uma série de acontecimentos, mas não explica o que foi solicitado; ou de textos incompreensíveis devido à inabilidade de escrita do estudante.
C1	Os estudantes desta categoria compartilham noções cotidianas. Por exemplo, eles afirmam que os homens produzem espermatozoides (semelhantes aos girinos) e as mulheres, óvulos (parecidos com ovos de galinha). Durante a fecundação, ocorre mistura da informação genética contida nos pais (C1b). Alguns alunos fazem uso de termos científicos mais sofisticados, mas sua descrição é confusa ou distorcida. Alguns alunos, por exemplo, afirmam que todas as células do corpo carregam a mesma informação genética ou DNA quer sejam somáticas ou germinativas. Outros alunos acreditam que os espermatozoides e óvulos são formados por inúmeras células (C1) ou dizem que cada célula possui o DNA que precisa para executar suas funções. Parte dos alunos desse grupo consegue localizar a informação genética no núcleo da célula e, algumas vezes,

	descrevem adequadamente as estruturas celulares (C1c).
C2	Os estudantes deste grupo entendem que espermatozóide e óvulo carregam metade da informação genética presente em outras células do corpo.
C3	Os alunos com este perfil apresentam uma compreensão muito próxima da científica. Todos eles localizam informação genética dentro do núcleo das células e utilizam ilustrações para indicar a localização dos genes, cromossomos e DNA dentro do núcleo. A informação genética presente no espermatozóide e no óvulo “se mistura”, formando um indivíduo com metade das características de cada um dos progenitores. Alguns alunos citam, por exemplo, o número de cromossomos presentes nas células humanas e descrevem a síndrome de Down como uma anomalia genética. Esses alunos utilizam adequadamente os termos científicos.
CI	Alguns alunos apresentam níveis de compreensão bastante idiossincráticas, revelando idéias ou concepção pré-formistas ou utilizando representações muito pessoais do que ocorre durante a transmissão da informação hereditária ou, ao contrário, mostram somente representações divulgadas pela mídia.

As redações produzidas após a aplicação da sequência didática descrita anteriormente foram lidas, os trechos mais significativos foram grifados e as compreensões dos estudantes foram agrupadas em distintas categorias de análise. Essa classificação foi realizada “a posteriori” e buscou revelar diferentes perfis de aprendizagem ou de aproximação a compreensão científica oferecida pelo professor/pesquisador.

Tabela 7: Categorias criadas para classificar as idéias dos alunos no pós-teste.

Perfil	Pós-teste Descrição das características das redações dos estudantes produzidas após a aplicação da sequência didática
DO	Os estudantes deste perfil não conseguiram compreender a organização da célula e suas estruturas; e nem explicar como a informação hereditária é transmitida ou como está organizada dentro do espermatozóide ou óvulo. Estes alunos também podem não ter conseguido expor o que sabem em virtude de sua inabilidade para escrever.
D1	Os estudantes possuem distorções em relação à compreensão da localização da informação genética dentro da célula e não conseguem associar corretamente as estruturas gene, DNA e cromossomo. Neste grupo, foram inclusos os estudantes que afirmam serem os óvulos e espermatozoides formados por inúmeras células.
D2	Os estudantes deste grupo sabem localizar a informação genética dentro do núcleo e relacionam as estruturas celulares, mas não se apropriaram de noções importantes sobre os processos de divisão celular: D2a) Os alunos não mencionam a redução do número de cromossomos durante a meiose para formação dos gametas; ou entendem que os gametas possuem a mesma informação

	<p>hereditária presente nas células somáticas.</p> <p>D2b) Os alunos neste sub-grupo sabem que os gametas possuem 23 cromossomos, mas não reconhecem a variabilidade causada pela combinação aleatória dos cromossomos paternos e maternos durante a divisão celular. Para eles, todos os espermatozoides carregam a mesma informação genética.</p> <p>D2c) Os alunos deste subgrupo acreditam que as células possuem as informações que necessitam para realizar suas funções.</p> <p>D2d) Os estudantes reconhecem a redução do número de cromossomos e demonstram conhecer os processos de divisão celular, entretanto seu texto é confuso ou eles utilizam inadequadamente os termos científicos (mitose e meiose).</p>
D3	<p>Os alunos deste perfil conseguiram reproduzir apropriadamente o conhecimento transmitido pelo professor, aproximando-se da compreensão científica sobre os processos de divisão celular. Além de localizar a informação genética no núcleo da célula e associar as estruturas celulares, os alunos explicitam claramente que existe redução do número de cromossomos durante a meiose e que as células formadas através da mitose conservam o número cromossômico (com uso de desenhos adequados). Muitos, em vez de referir-se à fecundação como “mistura”, utilizam a idéia de “combinação” das informações genéticas.</p>
DI	<p>Alguns alunos mantêm algumas compreensões idiossincráticas.</p>

No capítulo referente aos resultados, cada uma dessas categorias foi descrita detalhadamente e ilustrada através da transcrição integral das redações elaboradas pelos estudantes de sexta e oitava-série. Além de descrever extensamente esses padrões de pensamentos ou compreensões dos processos de divisão celular e localização do material hereditário, o texto apresenta comentários sobre alguns aspectos inusitados ou interessantes dessas produções. Para oferecer dados sobre a distribuição desses padrões de aprendizagem desse tópico, cada uma das redações foi classificada e foi mensurado o número de alunos classificados em cada um desses grupos.

A transcrição das redações sofreu um processo de edição, por meio do qual erros de natureza ortográfica e gramatical foram corrigidos para evitar a inserção de indicação de incorreções neste original. Este procedimento, entretanto, não alterou nenhuma frase ou o sentido das idéias dos estudantes.

4 RESULTADOS

Neste capítulo, serão descritos os resultados da aplicação do questionário modificado de Lewis em três turmas de oitava-série antes e após o desenvolvimento de uma sequência didática; e será descrito também os padrões de aprendizagem dos estudantes pela análise das redações produzidas a partir de um roteiro de questões sobre onde se localiza e como se organiza a informação genética em gametas e células somáticas, e como essa informação é reproduzida para formação de novas células.

4.1. QUESTIONÁRIO MODIFICADO DE LEWIS

Localização do material hereditário

A maioria dos alunos sabe que o núcleo se situa dentro da célula, mas praticamente metade deles não sabe dizer onde se situa o DNA. Antes do ensino deste tópico, apenas 19% dos alunos dizem que o DNA está presente no núcleo e essa percentagem se eleva para 65% após o ensino formal, como mostrado na tabela 8.

Tabela 8: Localização do DNA

<i>Respostas dos alunos</i>	<i>Pré-teste</i>	<i>Pós-teste</i>
Núcleo	19%	65%
Células	34%	19%
Não sei	47%	16%

Transferência de informação

As células somáticas carregam o dobro da informação contida nos gametas e essa idéia é fundamental para entender os processos de divisão celular. Uma minoria dos estudantes distingue claramente as células somáticas dos gametas antes do ensino formal. No pré-teste, apenas 4% dos alunos disseram que as células da pele originam outras células com igual número de cromossomos e justificaram adequadamente sua resposta. No pós-teste, um pouco mais da metade dos alunos mostram essa compreensão, como mostra a tabela 9.

Tabela 9: Respostas oferecidas pelos estudantes para a pergunta sobre o número de cromossomos presentes em uma célula da pele originada a partir de outra.

<i>Respostas dos alunos</i>	<i>Pré-teste</i>	<i>Pós -teste</i>
Número de cromossomos diferente	61%	20%
O mesmo número de cromossomos	35%	22%
O mesmo número de cromossomos com justificativa	4%	58%

É interessante perceber que, no pré-teste, 35% dos alunos afirmaram que as células-filhas que se formam a partir de uma célula da pele terão igual número de cromossomos sem justificar sua resposta e 61% pensam que este número é diferente. Após o período de aprendizagem, 20% dos alunos ainda pensam erroneamente que as células somáticas possuem número diferente de cromossomos em relação à célula original.

Em relação ao número de cromossomos presente nos gametas, 26% dos alunos sabem que o óvulo possui metade da informação genética presente na célula da qual se forma. Este valor se eleva para 85% dos estudantes após o período de aprendizagem. Como mostrado na tabela 10, praticamente 15% dos alunos, apesar do período de aprendizagem, não conseguem reconhecer a redução à metade da informação genética nos gametas.

Tabela 10. “Se uma célula original contivesse os cromossomos mostrados no diagrama, quantos cromossomos você acha que um óvulo deveria conter?”

<i>Respostas dos alunos</i>	<i>Resultados</i>	
	<i>Pré-teste</i>	<i>Pós-teste</i>
O mesmo número ou o dobro do original	74%	15%
Metade do número original	14%	15%
Metade do número original com justificativa	12%	70%

Na parte do questionário sobre reprodução, 65% dos estudantes no pré-teste reconheceram que óvulos e espermatozóides contêm igual número de cromossomos. Este valor se eleva um pouco mais depois do período de aprendizagem, passando a 85% da amostra. De novo, 15% dos alunos mantêm concepções distorcidas ou incorretas apesar do ensino formal. Praticamente metade dos alunos sabe ou reconhece que o óvulo fertilizado deve conter o dobro do número de cromossomos do espermatozóide antes da aplicação da sequência didática e, após este período, 15% respondem inadequadamente esta questão.

Todas as células somáticas possuem a mesma informação genética, independentemente do tecido que formam. Esta idéia foi verificada em uma pergunta que solicitava aos estudantes as diferenças existentes entre as células da bochecha, do tecido nervoso e de espermatozoides de um mesmo indivíduo. Na tabela 11, é possível verificar que a maioria dos estudantes, antes da aplicação da sequência didática, acredita que as células possuem somente a informação genética necessária para exercer sua função como demonstrado por Lewis e colaboradores (2000).

Tabela 11: Respostas dos estudantes para a seção sobre células

<i>Questões</i>	<i>Respostas possíveis</i>	<i>Porcentagem</i>	
		<i>Pré-teste</i>	<i>Pós-teste</i>
Em duas células da bochecha de Roberto, a informação genética deve ser	a mesma	72%	91%
	diferente	13%	6%
	não sei	15%	3%
Em duas células de Roberto: uma da bochecha e outra nervosa, a informação genética deve ser:	a mesma	21%	60%
	diferente	73%	38%
	não sei	6%	2%
Em duas células de Roberto: uma da bochecha e um espermatozoide, a informação genética deve ser	a mesma	23%	22%
	diferente	66%	75%
	não sei	11%	3%
Em dois espermatozoides de Roberto, a informação genética deve ser:	a mesma	28%	27%
	diferente	64%	72%
	não sei	8%	1%

A totalidade dos alunos (91%) entendeu que duas células da bochecha de um mesmo indivíduo possuem as mesmas informações após o período de aprendizagem. Entretanto, 6% deles conservam a idéia de que duas células da bochecha carregam informação genética distinta.

O entendimento da natureza da informação

O termo gene está bastante presente no universo cotidiano em virtude da divulgação de reportagens ou notícias relacionadas à genética. Apesar de ser reiteradamente exposto a este termo através dos meios de comunicação, 58% dos alunos não conseguiram dizer qual era a importância dos genes no pré-teste e este número se reduz muito após o período de aprendizagem. Mais uma vez, 14% da amostra não conseguem responder à questão mesmo depois de ter aprendido o conteúdo formalmente na escola. No pré-teste, nenhum aluno respondeu que os genes são responsáveis pela produção de proteínas; este número se eleva pouco, passando para 14%, no pós-teste. 40% dos alunos dizem que os genes são importantes porque determinam as características ou porque carregam a informação antes da aprendizagem e isto se eleva para 69% no pós-teste (tabela 12).

Tabela 12: Os genes são importantes porque:

<i>Respostas dos alunos</i>	Pré-teste	Pós-teste
São responsáveis pela produção de proteínas	0	14%
Carregam ou transferem informação	22%	36%
Determinam as características	18%	33%
Contém o DNA	2%	3%
Não sei	58%	14%

A maioria dos alunos não sabe dizer por que os genes são importantes e quase metade deles respondeu vagamente à pergunta sobre sua localização, como mostrado na tabela 13. A outra metade diz que os genes são encontrados nas células ou no DNA antes do período de aprendizagem. Essa compreensão se modifica no pós-teste, quando a maioria dos alunos responde que os genes são encontrados nos cromossomos ou no DNA.

Tabela 13: Localização dos genes.

<i>Respostas dos alunos</i>	Pré-teste	Pós-teste
Em qualquer lugar	44%	8%
Na célula	24%	21%
No núcleo	1%	13%
No DNA	23%	28%
Nos cromossomos	8%	30%

Em relação à informação genética, a maior parte dos alunos tanto no pré-teste (38%) quanto no pós-teste (62%) sugeriu que ela estava relacionada à determinação de características. 34% não sabem dizer o que é essa informação no pré-teste e este número se reduz para 9% após o período de aprendizagem (tabela 14). Ao passo que praticamente 82% dos alunos dizem que a informação genética está relacionada à determinação de características ou transferência de informação genética após a aprendizagem.

Tabela 14: A informação genética, para os alunos, significa:

<i>Respostas dos alunos</i>	Pré-teste	Pós-teste
Transferência de informações	23%	20%
Determinação das características	38%	62%
Toda informação (ou genes) de um ser vivo	3%	8%
Diferencia os seres vivos	2%	1%
Não sei	34%	9%

Além disso, metade da amostra não entendeu que a informação genética é achada em todos os seres vivos (tabela 15). É possível que este achado reflita uma dificuldade geral com o conceito de “ser vivo” ao invés de uma falta específica de conhecimento de que todas as coisas vivas contêm informação genética.

Tabela 15: Alunos que sabem que existe informação genética nos seres vivos.

	Pré-Teste	Pós-Teste
Árvores	43	69
Mamíferos	43	69
Samambaia	43	65
Vírus	24	32
Fungos	24	47
Bactérias	28	44
Insetos	43	69

68% e 93% dos alunos no pré e pós-teste, respectivamente, já tinham ouvido falar de DNA. Entretanto, sete por cento afirmaram que nunca ouviram falar sobre DNA mesmo depois de um período de aprendizagem, no qual esse tema foi tratado repetidamente nas aulas de Ciências. Quando questionados sobre a importância do DNA, 45% dos alunos no pré-teste e 67% no pós-teste responderam que o DNA contém a informação genética. Mesmo depois de um período de aprendizagem,

aproximadamente 13% da amostra não soube justificar por que o DNA é importante (tabela 16).

Tabela 16: O DNA é importante por que:

<i>Respostas dos alunos</i>	Pré-teste	Pós-teste
Contém a informação genética	45%	67%
Determina as características	23%	20%
Não sei	32%	13%

Em relação aos cromossomos, a maioria dos alunos já ouviu falar sobre eles, entretanto 88% não sabiam dizer do que eram feitos. Apenas 3% dos alunos sabiam que os cromossomos eram feitos de DNA e nenhum respondeu que se tratava do DNA condensado antes do período formal de ensino e, após o ensino, praticamente 50% reconhecem que os cromossomos são DNA ou DNA enrolado. Outros alunos dizem que os cromossomos são feitos de informação genética (2% e 9%, respectivamente) e de genes (6% e 14%). Mesmo depois do período de aprendizagem, 28% dos alunos não sabem o que são os cromossomos.

O desempenho de cada um dos estudantes das três turmas analisadas foi representado nos gráficos a seguir. Verifica-se que, antes de aprender o conteúdo formalmente na escola, os alunos conseguem acertar cerca de 10% das questões propostas. Somente um estudante alcançou uma porcentagem de acertos superior a 60% durante o pré-teste. No pós-teste, 64,5% dos alunos da 8º A; 80,6% dos alunos da 8ºB e 59,3% dos alunos da 8ºC ultrapassaram o limite de 50% de acertos. Esses gráficos também mostram que os alunos apresentam diferentes padrões de aprendizagem, uns são capazes de se apropriar de um conjunto maior de conhecimento em um mesmo período de aprendizagem e outros não modificam muito o seu desempenho. Essa variação nos padrões de aprendizagem será descrita detalhadamente ao analisarmos as produções escritas dos estudantes de sexta e oitava-série.

Figura 14: Desempenho dos alunos da 8ª série A antes e após a intervenção.

Figura 15: Desempenho dos alunos da 8ª série B antes e após a intervenção.

Figura 16: Desempenho dos alunos da 8ª série C antes e após a intervenção.

Finalmente, os gráficos abaixo representam comparativamente a porcentagem de acertos dos estudantes ao responderem o questionário modificado de Lewis antes e após a aplicação da sequência didática. Verifica-se que a maioria dos alunos consegue responder adequadamente de 30 a 50% das questões antes de aprender o conteúdo formalmente na escola, simplesmente utilizando repertório de conhecimentos prévios aprendidos na própria escola ou através da mídia. Ao menos 5% dos alunos amostrados conseguem acertar 60 a 70% das questões antes da intervenção. Depois da aplicação da sequência didática, a maioria dos alunos acerta de 50 a 80% das questões e cerca de 5% novamente atinge os níveis mais elevados de acertos, quase 90% das questões.

Figura 17: Porcentagem de acertos totais durante o pré-teste

Figura 18: Porcentagem de acertos totais durante o pós-teste

4.2 PADRÕES DE APRENDIZAGEM

Com a intenção de revelar os padrões de aprendizagem sobre a localização da informação genética e os processos de divisão celular, os alunos de quatro turmas de sexta-série (12-13 anos) e duas de oitava-série (14-15 anos) do ensino fundamental foram convidados a redigirem redações antes e após o período de aprendizagem, como descrito anteriormente no capítulo de métodos. Essas produções foram analisadas e categorizadas em grupos que compartilhavam compreensões semelhantes. Antes do período de aprendizagem, por exemplo, os alunos foram classificados em níveis de compreensão C0, C1, C2 e C3. O grupo C0 reúne os alunos que não mostram, em suas produções, compreensão sobre as questões propostas; o grupo C1, subdividido em C1a, C1b e C1c, reúne os alunos que compreendem que a informação genética está dentro da célula, e que o espermatozóide fecunda o óvulo gerando uma nova célula que se multiplica e forma um novo ser. Neste grupo, entretanto, alguns alunos entendem que um espermatozóide é formado por muitas células. Na categoria C2, os alunos sabem que os gametas carregam metade do material hereditário presente em outras células do corpo. No grupo C3 são encontrados os alunos que possuem uma compreensão mais próxima da científica e que, mesmo antes do ensino formal sobre o tema, descrevem adequadamente como se organiza uma célula e como a informação é transmitida.

A análise das redações produzidas após o período de aprendizagem foi realizada de maneira semelhante, sendo que as categorias de análise retratam níveis de compreensão diferentes sobre o tema. Neste caso, as categorias foram representadas pela letra D (depois da aprendizagem) e os grupos criados foram D0, D1, D2 e D3, sendo o grupo D2 subdividido em D2a, b, c e d. No nível D0, foram agrupados os alunos que não demonstram aprendizagem dos conceitos tratados durante as aulas; no nível D1 estão os alunos que sabem localizar a informação genética dentro do núcleo, mas não relacionam adequadamente as estruturas DNA, gene e cromossomo. A descrição adequada dessas estruturas é encontrada nas produções do grupo D2, mas eles ainda possuem idéias prévias e confusas em relação à transmissão da informação. O grupo D3 reúne os alunos que conseguem reproduzir o conhecimento transmitido pelo professor e demonstram uma compreensão mais próxima daquela esperada após o ensino formal.

Em vez de analisar as produções antes e após o período de aprendizagem separadamente, preferimos realizar uma abordagem comparativa, mostrando a

maneira de entender de um determinado estudante antes e após o período de aprendizagem. Dessa maneira, ressaltaremos as variações e as mudanças na maneira de compreender os temas tratados em sala de aula. De início, mostraremos essas variações de maneira quantitativa, ou seja, quantos alunos passaram de um nível de aprendizagem para outro e, posteriormente, alguns desses padrões serão descritos a partir da análise de algumas redações transcritas integralmente.

A distribuição dos alunos em diferentes níveis de aprendizagem, antes e após a aplicação da sequência didática, foi ilustrada na figura 19. Verifica-se o predomínio dos níveis de conhecimento CI e C1 antes da intervenção e dos níveis D2 e D3 após o ensino formal do tema. Os resultados demonstram que, mesmo após o ensino formal, uma parte dos alunos não consegue modificar sua compreensão sobre o tema e a maior parte deles não apreende a informação tal qual o professor esperaria.

Figura 19: Distribuição dos níveis de aprendizagem dos estudantes antes e após a aplicação da sequência didática.

Na figura 20, podemos avaliar a distribuição das diferentes combinações possíveis em relação aos padrões de aprendizagem. Os padrões mais frequentes de aprendizagem correspondem às passagens dos níveis C1 para D2 e do nível C2 para D3, demonstrando que os alunos que localizam a informação genética dentro da célula passam a entender a redução da informação genética para a formação dos

gametas, mas ainda não são capazes de descrever os processos de divisão celular adequadamente. Quem já compreende que os gametas carregam metade da informação consegue entender os processos de divisão celular mais facilmente.

Figura 20: Distribuição de padrões de aprendizagem encontrados entre os estudantes amostrados.

Os alunos classificados em um mesmo nível de aprendizagem podem apresentar diferentes níveis de apropriação do conteúdo, por exemplo, os alunos classificados no nível CI (compreensão idiossincrática) antes do período de aprendizagem passaram a níveis de compreensão diferentes depois da intervenção. Na figura 21, foram representados os padrões de aprendizagem desse grupo: 29,6% passaram da categoria CI para a D2 e 44% passaram da categoria CI para a D3.

Figura 21: Variação no padrão de aprendizagem do grupo CI.

A DIVERSIDADE DE PADRÕES DE APRENDIZAGEM

Padrão C0 – D0: Alunos que não mudam a sua maneira de entender

Alguns alunos não modificam suas idéias ao longo do período de aprendizagem ou adquirem uma compreensão muito aquém daquela esperada. Os alunos com um padrão de aprendizagem C0-D0 não conseguiram localizar a informação genética dentro da célula e descrever os processos de divisão celular. A título de exemplo, em seguida, foram transcritas integralmente as redações do estudante 6B20 (6ª série) produzidas antes e após a intervenção.

Aluno: 6B20	
Pré-teste	Pós-teste
<p><i>Bom, eu vou contar uma história sobre uma viagem ao corpo humano com Lulubel.</i></p> <p><i>Lulubel namorava com seu vizinho, Marcelo, e o pai dele era cientista que sem querer os diminuiu e os engoliu, e assim a viagem começou:</i></p>	<p><i>Se eu pudesse ficar muito pequeno e entrar no corpo humano eu gostaria de ver: o espermatozóide, óvulo, informação hereditária, o DNA e cromossomos.</i></p> <p><i>Primeiro eu veria o DNA, ele está no nosso sangue e dentro de nossas células. Depois eu iria ao óvulo e ao espermatozóide e veria algumas</i></p>

<p>- Ai que nojo! Disse Lulubel</p> <p>- Já que estamos aqui, vamos pesquisar.</p> <p>Disse o seu namorado, Marcelo.</p> <p>- Ei, que lugar é esse? Perguntou ela.</p> <p>- Aqui é o espermatozóide do meu pai.</p> <p>Disse seu namorado, Marcelo.</p> <p>- E agora onde estamos?</p> <p>- Estamos no óvulo.</p> <p>- Eles carregam a mesma informação.</p>	<p>diferenças, poderia dizer que os dois não têm a mesma informação hereditária.</p> <p>E quando tivesse dentro do espermatozóide veria muitas informações hereditárias e poderia dizer que todas são iguais.</p> <p>Se eu entrasse em uma célula da pele, eu veria a informação genética e veria que elas não são iguais, pois a informação é de uma célula e não de um espermatozóide.</p> <p>O processo de divisão celular acontece quando o espermatozóide desce no óvulo da mulher e se encontra com um pedaço do óvulo e as células começam a se dividir e formar milhares de células.</p> <p>Os filhos de pais de um mesmo casal são diferentes, porque suas células são diferentes e seus cromossomos também.</p>
--	---

Na primeira redação, realizada antes do período de aprendizagem, o estudante 6B20 constrói uma pequena história para dizer apenas que o óvulo e espermatozóide carregam a mesma informação. Entretanto, ele não explica o que são e o que teria no interior dessas estruturas, não utiliza analogias ou imagens que revelem a sua compreensão sobre o assunto. Após o período de aprendizagem, o estudante faz referência a conceitos tratados em sala de aula, como DNA, cromossomos, célula, divisão celular; mas não explica o que são essas estruturas e como elas estão relacionadas, nem tampouco reproduz a fala do professor. É como se ele apenas elencasse as palavras-chave citadas nas aulas. Diferente deste estudante, que escreve de maneira compreensível e organiza relativamente bem suas idéias, outros alunos agrupados nesse padrão de aprendizagem não conseguem relevar seu pensamento por não terem sido alfabetizados apropriadamente. Mesmo na sexta-série ou oitava-série, alguns deles não escrevem frases compreensíveis.

Padrão C0 – D1: um passo curto

Os alunos agrupados neste padrão de aprendizagem demonstram compreender onde está localizada a informação genética após o período de aprendizagem, mas não se apropriam de outros conhecimentos. Em seguida, foram reproduzidas as redações elaboradas pelo estudante 6B11. Antes do período de aprendizagem, o estudante não

consegue organizar seu pensamento e não explica onde se localiza a informação genética. Após a intervenção, a informação genética é localizada no núcleo da célula, mas o estudante não demonstra ter compreendido as relações entre as estruturas celulares e nem os processos de divisão celular.

Aluno: 6B11	
Pré-teste	Pós-teste
<p><i>Eu veria células, vírus e núcleos, as diferenças entre o esperma e o óvulo é que o óvulo é maior comparado com o esperma.</i></p> <p><i>O esperma e o óvulo têm a mesma função, eu imagino que a informação seja óbvia e se localize dentro do espermatozóide e do óvulo.</i></p> <p><i>Eu já ouvi falar em DNA e não existem genes, DNA ou cromossomos nos espermatozoides ou em óvulos. Sim, todos os espermatozoides são iguais. Sim, as células são as mesmas.</i></p> <p><i>Os espermatozoides fecundam o óvulo quando entra no óvulo. Os irmãos são diferentes porque os espermatozoides não são iguais.</i></p>	<p><i>Se eu pudesse ficar muito pequeno e entrasse dentro de um espermatozóide e de um óvulo, eu poderia ver cromossomos e uma fecundação. A diferença entre o óvulo e o espermatozóide seria que o óvulo é da mulher e o espermatozóide é do homem,</i></p> <p><i>Eu acho que eles carregam a mesma informação hereditária e ela está localizada no núcleo deles. Sim, eu já ouvi falar em gene, DNA e cromossomos, os genes estão localizados nas células e no DNA.</i></p> <p><i>Os espermatozoides são criados pelo homem, mas nem todos têm as mesmas informações hereditárias, pois nem todos são iguais.</i></p> <p><i>Se eu pudesse entrar em uma célula eu veria que a informação genética não é a mesma que a do espermatozóide.</i></p> <p><i>Quando um espermatozóide fecunda um óvulo a informação hereditária vai se juntar. A informação genética presente no filho de um casal é diferente daquela existente nos pais, porque a informação vai se juntar também.</i></p> <p><i>Uma única célula origina um indivíduo com bilhões de células com o processo da mitose. Dois irmãos, filhos dos mesmos pais, são diferentes porque as células são diferentes.</i></p>

Padrão C0 – D2: um passo mais largo

Os alunos agrupados nesse padrão de aprendizagem demonstram uma melhora considerável na sua maneira de compreender os processos de divisão celular. Dependendo do subgrupo no qual é classificado, o aluno pode ou não citar em sua redação como ocorre a redução do número de cromossomos durante a formação dos gametas, mas todos eles localizam a informação genética dentro do núcleo das células e, às vezes, relacionam adequadamente as estruturas celulares. O estudante 6C7, por exemplo, na redação elaborada antes do período de ensino formal, não localiza a informação hereditária dentro do núcleo da célula e acredita que cada célula do corpo possui uma informação diferente. Na sua produção posterior à intervenção, o aluno reconhece que óvulos e espermatozóides possuem 23 cromossomos, mas não consegue explicar os processos de mitose e meiose.

Aluno: 6C7	
Pré-teste	Pós-teste
<p><i>Se eu ficasse muito pequeno, eu iria entrar na célula.</i></p> <p><i>O espermatozóide e o óvulo não carregam a mesma informação, essa informação é o material genético.</i></p> <p><i>Cada espermatozóide carrega o gene, mas as informações hereditárias são diferentes.</i></p> <p><i>Cada célula do corpo tem uma informação genética diferente, a informação hereditária passa para o óvulo para a criança nascer.</i></p> <p><i>A célula nasce quando uma célula se divide em duas.</i></p> <p><i>Esse passeio me deixa a resposta que irmãos de uma mesma família são diferentes porque são informações genéticas diferentes.</i></p>	<p><i>Se eu ficasse muito pequeno, eu veria no espermatozóide a informação genética e 23 cromossomos e no óvulo eu também veria a informação genética e 23 cromossomos.</i></p> <p><i>Existem poucas diferenças, como tamanho e formato. O espermatozóide e o óvulo não têm a mesma informação hereditária. Essa informação está em forma de fios soltos.</i></p> <p><i>Os genes existem no espermatozóide e no óvulo, também o encontramos no DNA.</i></p> <p><i>Os espermatozóides são diferentes.</i></p> <p><i>As células da pele e de qualquer outra parte do corpo são diferentes da informação do espermatozóide.</i></p> <p><i>Quando um espermatozóide fecunda o óvulo a informação hereditária condensa formando os genes. A informação genética de um filho é diferente porque há bilhões de combinações.</i></p> <p><i>Uma única célula origina um organismo com bilhões de células com processos de meiose e mitose.</i></p>

O passeio feito no interior do óvulo me mostrou que há milhões de combinações a serem feitas, não só como os genes do tipo sangüíneo.

Padrão C0 – D3: um grande salto conceitual

Poucos alunos demonstram variação na sua maneira de compreender um determinado tema como o aluno 6A7. Embora ele tenha dito que dentro do espermatozóide e óvulo existe DNA em sua primeira produção, não descreve de maneira tão concisa e original a organização da célula e a transmissão da informação. Em vez de reproduzir as falas e descrições oferecidas pelo professor, o aluno constrói uma redação com imagens e elementos novos e idiossincráticos.

Aluno: 6A7	
Pré-teste	Pós-teste
<i>Um dia comum, eu acordei e estava bem pequeno e num lugar todo branco, não via nada, a não ser um pontinho colorido, cheguei mais perto e vi que era o DNA, continuei andando e passei por um tipo de parede gelatinosa, eu estava num veículo branco, era o espermatozóide, mais à frente vi o óvulo, dentro dele tinha um DNA.</i>	<i>Um dia eu acordei e estava em um lugar estranho com uma geléia (citoplasma), vi também uma parede (membrana plasmática), algumas coisas estranhas (organelas), uma bola (núcleo) e atravessei a “casca” (membrana nuclear), lá dentro tinha uma coisa, uma não, 23 coisas que pareciam com bumerangues (cromossomos); não sei porque, mas lembrava que era o DNA condensado. Senti um tranco, saí correndo dali e cheguei num lugar bem maior, com as mesmas coisas, mas neste resolvi explorar mais, fui na frente dos bumerangues (cromossomos) lá tinha 23 e foi chegando os outros 23 de onde eu estava. Era maior do que eu pensava, era longo, tinha uns dois metros, e tinha umas bolinhas (genes: produzem proteínas que determinarão nossas características), olhei em outros cromossomos e as bolinhas eram diferentes, outras bolinhas começaram a entrar e ficar uma do lado da outra. Quando saí dali era uma célula normal (zigoto).</i>

Padrão C1 – D1: mais conhecimento, mas pouca mudança

Os alunos que possuem um padrão de aprendizagem C1-D1 se caracterizam por conservar suas explicações, as quais já continham algumas informações sobre a localização do material hereditário. Em sua primeira redação, por exemplo, o aluno 6C13 descreve que existem várias células no interior do óvulo e do espermatozóide e, mesmo depois do ensino formal, ele conserva essa idéia e utiliza, muitas vezes, elementos da vida cotidiana para explicar porque a informação presente nas células reprodutivas é diferente (uma vem do pai e outra da mãe). A leitura das duas redações mostra como o estudante utiliza os mesmos elementos discursivos e imagens para realizar as descrições.

Aluno: 6C13	
Pré-teste	Pós-teste
<p><i>Se eu fosse pequena suficiente para entrar em um espermatozóide ou um óvulo, eu veria muitas células dentro deles. Eu veria ao longo da viagem muitas bactérias, anticorpos e alimentos não digeridos.</i></p> <p><i>As diferenças entre o espermatozóide e o óvulo seriam que o espermatozóide teria células maiores, mas menos células do que o óvulo e teriam cores diferentes.</i></p> <p><i>O óvulo e o espermatozóide não carregariam a mesma informação hereditária, pois eu poderia ter informações hereditárias da minha mãe, tipo a mesma cor dos olhos, e do pai, como por exemplo, mesmo tipo de sangue. A informação hereditária poderia se localizar nas células.</i></p> <p><i>Nunca ouvi falar de cromossomos e de genes. Os espermatozóides até poderiam carregar a mesma informação hereditária, mas poderiam ser diferentes.</i></p>	<p><i>Se eu pudesse ficar muito pequeno, eu veria dentro do espermatozóide várias células, DNA e os cromossomos. E dentro do óvulo veria células, o DNA e os cromossomos.</i></p> <p><i>A diferença entre o óvulo e o espermatozóide seria que o óvulo viria da mãe e o espermatozóide do pai. O espermatozóide e o óvulo não carregam a mesma informação hereditária, pois, vem da mãe e do pai. Exemplo: o filho pode ter a mesma cor de cabelo da mãe, e a cor dos olhos do pai. Essa informação está localizada no núcleo.</i></p> <p><i>Os espermatozóides do homem não carregariam a mesma informação, pois cada espermatozóide têm sua função e informação diferente, por exemplo, um espermatozóide faz o filho ter a mesma cor do cabelo do pai.</i></p> <p><i>Eu acho que se eu pudesse entrar numa célula da pele, a informação genética seria diferente, pois, o fígado do filho pode ter um problema que o fígado do pai não teve.</i></p> <p><i>A informação genética presente no filho é diferente, pois os espermatozóides fecundam os</i></p>

<p><i>A informação genética das células de diferentes partes do corpo não seria a mesma presente no espermatozóide, pois cada parte do corpo tem sua célula diferente de um outro.</i></p> <p><i>Quando um espermatozóide fecunda um óvulo a informação hereditária se misturaria.</i></p> <p><i>Os filhos de um casal são diferentes pois cada um recebeu células hereditárias diferentes.</i></p>	<p><i>óvulos e misturam as informações.</i></p> <p><i>O processo de divisão celular é chamado mitose, os cromossomos se duplicam e depois se dividem formando o mesmo número de cromossomos.</i></p> <p><i>Os filhos de um casal são diferentes, pois cada um recebe uma informação genética diferente.</i></p>
---	---

Padrão C1 –D2: um pouco mais de conhecimento, mas distorcido

Este é padrão de aprendizagem mais frequentemente encontrado entre os estudantes. Alguns alunos conseguem se apropriar de conhecimentos transmitidos pelo professor, mas de maneira distorcida. O aluno 6D26, por exemplo, transformou significativamente a sua maneira de entender a localização e transmissão do material hereditário. Se antes ele dizia que não havia genes ou DNA dentro dos gametas, ele passa a afirmar que “*no espermatozóide e no óvulo há com certeza o gene, e lógico que também há o DNA e também os cromossomos*”. Entretanto, ao desenhar essas estruturas em uma célula, o aluno as representa separadamente, demonstrando, com isso, que não compreendeu a relação entre elas.

Aluno: 6D26	
Pré-teste	Pós-teste
<p><i>Sonhei que fiquei bem pequeno e entrei no organismo humano. Meu sonho foi assim: entrei no óvulo e vi o DNA e muito mais coisas. Depois entrei no espermatozóide. Ele está presente no corpo do homem e o óvulo está no corpo da mulher.</i></p> <p><i>O espermatozóide e o óvulo não carregam a mesma informação hereditária, um tem o DNA e o outro a</i></p>	<p><i>Dentro de um espermatozóide ou de um óvulo, a primeira coisa que faria seria ver os componentes das células. As possíveis diferenças que veria dentro de cada um seria que o espermatozóide pode dar X e Y que no caso seria um bebê homem ou mulher. Por isso mesmo o espermatozóide e o óvulo não possuem a mesma informação hereditária. Essa informação está localizada no núcleo das células.</i></p> <p><i>Já ouvi falar de genes, cromossomos e DNA que</i></p>

“formação” do bebê que está localizada no meio dos dois.

Já ouvi falar de DNA, existem genes no óvulo, mas não no DNA.

Não, pois então todas as pessoas seriam iguais.

Sim, porque o seu DNA é igual em todo corpo.

Eles se juntam e depois vão para a barriga da mãe e assim o neném se forma.

Quando a primeira célula entra mais nenhuma pode entrar.

Sim, pois os espermatozoides do homem não são todos iguais.

é do que acabamos de falar agora. No espermatozóide e no óvulo há com certeza o gene, e lógico que também há o DNA e também os cromossomos.

Desenho da célula com todos os componentes ditos acima:

Todos os espermatozoides não são iguais, pois se não todo mundo seria igual, cada espermatozóide tem uma informação hereditária diferente.

Quando um espermatozóide fecunda o óvulo, as informações hereditárias se unem, o filho tem no DNA a informação hereditária do pai e da mãe, não só da mãe e nem só do pai.

Uma única célula origina um indivíduo com bilhões de células porque, conforme ele vai crescendo, as células vão se duplicando. Esse processo se chama mitose. Filhos do mesmo casal são diferentes porque cada espermatozóide tem uma informação diferente.

O aluno 6B19, antes da intervenção, acredita que o óvulo e o espermatozóide possuem células e não relaciona as estruturas DNA, genes e cromossomos corretamente. Já na segunda redação, o aluno diz que dentro do espermatozóide e do óvulo existe DNA e genes e relaciona corretamente as estruturas DNA, genes e cromossomos, porém acredita que os espermatozoides produzidos por um homem carregam a mesma informação hereditária.

Aluno: 6B19	
Pré-teste	Pós-teste
<p>Em uma tarde eu entrei escondida no laboratório de meu tio. Sem querer apertei um botão que me levou para dentro do corpo humano. Fiquei do tamanho de uma célula e conseguia ver todas elas. Por coincidência eu estava estudando isso em ciências. Vi os rins, estômago, bexiga, etc. Cheguei em uma parte onde estavam os óvulos. Neste corpo o óvulo estava junto com o espermatozóide. No óvulo tinham células, DNA e gene e no espermatozóide também. A diferença entre o óvulo e o espermatozóide é a forma e o DNA. O óvulo e o espermatozóide têm DNAs completamente diferentes. Estava aprendendo muito naquela viagem ao corpo humano. Os DNAs estão localizados dentro do óvulo e espermatozóide. Existem genes e DNAs no óvulo e no espermatozóide.</p>	<p>Dentro do espermatozóide e do óvulo existe o material genético, o DNA e os genes. A diferença do espermatozóide e do óvulo é que o espermatozóide se encontra no homem e o óvulo na mulher. O espermatozóide não carrega a mesma informação hereditária que o óvulo. Essa informação está no DNA. A informação hereditária se encontra no núcleo da célula do espermatozóide e do óvulo. Existem genes e DNA no espermatozóide e no óvulo. O material genético se condensa e forma os cromossomos para a divisão celular.</p> <p>Todos os espermatozóides carregam a mesma informação hereditária, eles têm os mesmos genes, mas cada um com sua função. A informação genética da pele é diferente da informação genética do espermatozóide. Na célula da pele só estão ligados os genes da melanina (proteína da pele). Quando um espermatozóide fecunda um óvulo a informação hereditária do homem junta com a da mulher. A informação genética do filho é diferente da dos pais, porque é a junção da informação do pai e da mãe. A célula origina um indivíduo com bilhões de células com a mitose e a meiose. Na mitose a célula se multiplica por células com o mesmo número de cromossomos e na meiose a célula se multiplica por células com metade do número</p>

	<p><i>de cromossomos.</i></p> <p><i>Irmãos, filhos de um mesmo casal, são diferentes por causa das diversas combinações dos genes.</i></p>
--	--

Em outro exemplo, o aluno 6C6 utiliza idéias cotidianas para expressar seu pensamento na redação produzida antes do período do ensino formal. Na sua segunda redação, verifica-se uma mudança significativa na sua compreensão. Ele localiza o material genético (DNA) dentro do núcleo do espermatozóide e do óvulo, dizendo que os gametas possuem diferenças em sua informação genética e relaciona corretamente DNA, cromossomos e genes. Este aluno reconhece a redução dos cromossomos na formação dos gametas, porém ele continua acreditando que os espermatozoides carregam exatamente a mesma informação genética, não mostrando, desta forma, o entendimento da variabilidade genética gerada durante a meiose.

Aluno: 6C6	
Pré-teste	Pós-teste
<p><i>Há muito tempo atrás fui a uma viagem e contei a meu irmão assim: eu fiz uma viagem em um lugar fantástico, dentro da barriga do papai.</i></p> <p><i>Fiquei muito pequena e fui averiguar o corpo humano e principalmente o óvulo e o espermatozóide.</i></p> <p><i>Eu descobri primeiramente que dentro do espermatozóide e do óvulo existe um tipo de material genético, muitas células e uma coisa que parece uma minhoca.</i></p> <p><i>E eu descobri que existem várias coisas dentro destes órgãos, eu vi lá no fundo uma diferença mínima: o óvulo tem um formato diferente e a linha que eu falei que parece uma minhoca, o do espermatozóide é maior.</i></p> <p><i>Além do mais os DNAs são diferentes,</i></p>	<p><i>Se eu pudesse ficar pequena, eu veria primeiramente o óvulo e o espermatozóide. Dentro do óvulo eu veria o núcleo, o material genético e outros. Já no espermatozóide eu também veria o núcleo e o material genético (DNA). Podemos ver acima que o espermatozóide e o óvulo têm semelhanças, mas eles também têm diferenças: o espermatozóide é do homem e o óvulo é da mulher, e eles não tem o mesmo DNA. O DNA fica no núcleo, tanto no óvulo quanto no espermatozóide, e parece uma fita embolada quando não está em divisão celular.</i></p> <p><i>Além do DNA existe o gene e o cromossomo. O gene é uma proteína que faz a característica e fica no cromossomo. Os cromossomos são DNA enrolados, condensados. Já o DNA é o material genético que fica no núcleo e se transforma em cromossomos quando acontece a divisão celular.</i></p>

<p>pois se fossem iguais as crianças iam nascer umas iguais as outras, por isso cada um tem o seu DNA e ele é passado para o óvulo ou pelo espermatozóide por um tipo de cano e este cano leva todas as informações necessárias para todo o corpo. O DNA fica do lado direito do óvulo e ao centro do espermatozóide. Também existe o gene, cromossomos, mais eu só vi os genes que são um tipo de cano que fica nos espermatozóide, no óvulo e no DNA.</p> <p>Voltando para o espermatozóide, as informações deles são iguais, pois se não fossem ia ser estranho.</p> <p>Falando das células, todas têm a mesma informação hereditária, igual a do espermatozóide. Novamente o espermatozóide, quando fecunda um óvulo, ele passa para o óvulo o DNA e o óvulo “dá” o seu também, assim a criança puxa um pouco da mãe e do pai. Já as células se dividem e passam para todo corpo. Resultado final com as misturas do DNA os filhos de um mesmo casal nascem diferentes.</p>	<p>O DNA, o gene e os cromossomos (DNA depois da divisão celular) existem tanto no óvulo como no espermatozóide.</p> <p>Falando sobre espermatozóide, todos eles que estão em apenas um homem, tem a mesma informação hereditária, pois todos eles são de apenas um homem.</p> <p>As células de qualquer parte do corpo (fígado, músculo) têm o mesmo material genético, pois elas estão em um só corpo, se comparar o DNA da Joana com o DNA da Sabrina vai ser diferente, mas se eu comparar o DNA do fígado da Sabrina e o óvulo dela, vai ser o mesmo, pois é do mesmo corpo.</p> <p>Já falando sobre fecundação do óvulo pelo espermatozóide, a informação genética se condensa e os 23 cromossomos do homem se juntam com os 23 cromossomos da mulher, formando um novo ser com 46 cromossomos, 23 da mãe e 23 do pai, por isso o DNA do filho é diferente, possui o DNA do pai e DNA da mãe.</p> <p>A divisão celular acontece primeiramente a transformação do DNA para cromossomos, depois os cromossomos se duplicam e acontece a divisão celular que pode ser: mitose (o mesmo número da célula original) e a meiose (com metade do número de cromossomos da célula original).</p> <p>Agora a dúvida: por que irmão, filhos dos mesmos pais, são diferentes? Porque existem várias combinações de genes na formação do óvulo e do espermatozóide.</p>
---	--

No pré-teste, o aluno 8D10 mostra claramente que sabe localizar a informação genética dentro do núcleo da célula, mas ainda não descreve claramente como essas informações são transmitidas. No pós-teste, o aluno relata uma série de

conhecimentos, mas não consegue expandir sua argumentação usando idéias sobre variabilidade genética.

Aluno: 8D10	
Pré-teste	Pós-teste
<p><i>Se eu pudesse ficar muito pequeno, primeiro entraria em um espermatozóide e veria todas as organelas e seu núcleo, dentro do núcleo eu veria pares de cromossomos que contêm os genes. Depois iria ver os óvulos e notaria que mesmo parecendo com o espermatozóide internamente, os genes seriam muito diferentes.</i></p> <p><i>Durante essa “viagem” eu notei que eles não carregam a mesma informação hereditária, que ambos carregam DNA nos genes e genes nos cromossomos. Também notei a diferença entre os espermatozóides, no exterior eles até poderiam ser parecidos, mas no interior de seus núcleos suas informações genéticas eram diferentes.</i></p> <p><i>Ao perceber que havia um óvulo, eu percebi que as informações hereditárias das células reprodutoras se fundiram para formar uma nova célula e esta se dividiu muitas vezes até formar bilhões.</i></p> <p><i>Notaria também que irmãos, filhos do mesmo casal, podem ser muito diferentes e também muito parecidos, pois as informações hereditárias dos óvulos e espermatozóides são diferentes ou iguais.</i></p>	<p><i>Se eu fosse muito pequeno eu veria dentro do óvulo, seus núcleos e organelas. Dentro do núcleo eu veria 23 cromossomos que são formados por milhares de genes cada. Eu veria a mesma coisa dentro do espermatozóide, só os cromossomos e os genes que seriam diferentes.</i></p> <p><i>Outra observação seria que eles não possuem a mesma informação hereditária, cada um teria a sua, por ser de pessoas diferentes, esta informação seria como um novelo de lã, toda embarçada dentro do núcleo.</i></p> <p><i>Se observasse atentamente, notaria que cada espermatozóide contém uma informação hereditária diferente, pois ao se dividir, a célula normal separa seus cromossomos de forma variada, deixando as células reprodutoras com genes e cromossomos variados.</i></p> <p><i>Também notaria que a informação hereditária presente na célula da pele seria diferente da informação presente no esperma, pois a célula normal se divide por meiose, separando-se em duas iguais e a célula reprodutora, é uma célula normal que se dividiu em quatro espermatozóides iguais, só que com a metade do número dos cromossomos.</i></p> <p><i>Quando o espermatozóide fecunda o óvulo, a informação hereditária se junta formando uma célula normal que se multiplicará várias vezes até formar um ser. Esta célula que representa a junção do espermatozóide com o óvulo vai ser uma mistura, será diferente das células dos pais,</i></p>

	<p><i>mas não completamente.</i></p> <p><i>Meu passeio me fez deduzir o porquê de irmãos serem tão diferentes, isso ocorre, pois as células que vieram dos pais são diferentes (nos genes e cromossomos).</i></p>
--	---

Padrão C1 –D3: mudanças significativas a partir de conhecimento prévio

O padrão C1-D3 foi o segundo mais frequentemente encontrado entre os estudantes amostrados. Se esses alunos possuem algumas noções prévias que podem servir como substrato para incorporar novos conhecimentos, isto facilita a aprendizagem. O aluno 8D15, por exemplo, na redação elaborada antes do período de ensino formal, afirma que os gametas carregam a informação genética. Na sua segunda produção, o estudante explica claramente que onde se localiza o DNA dentro das células e reconhece que todas as células possuem o mesmo número de cromossomos, exceto os gametas. Além disso, o aluno descreve o processo da mitose, diferenciando-a da meiose; e relaciona adequadamente as estruturas celulares e demonstra algum conhecimento sobre variabilidade genética.

Aluno: 8D15	
Pré-teste	Pós-teste
<p><i>Se eu pudesse ser muito pequena o suficiente para entrar em um espermatozóide, eu poderia ver como é o caminho que o espermatozóide percorre até chegar ao óvulo.</i></p> <p><i>Se pensarmos como é um espermatozóide, imaginamos que ele leve um pouco de material genético e que fecunda o óvulo, que imaginamos ser bem maior que o espermatozóide. O material genético começa a se desenvolver e começa a aumentar, ou seja, ocorre a divisão celular. E cada espermatozóide carrega um material genético diferente do outro.</i></p>	<p><i>Se eu pudesse ficar muito pequena e entrar em um óvulo ou em um espermatozóide, eu iria descobrir o porquê de muitas coisas como, por exemplo, o motivo pelo qual filhos dos mesmos pais são diferentes.</i></p> <p><i>O óvulo e o espermatozóide são células que carregam o material genético, eles são as únicas células do nosso corpo que possuem apenas 23 cromossomos (divisão celular: meiose), todas as outras células possuem 46 cromossomos, pois quando o espermatozóide fecunda o óvulo há a somatória desses cromossomos os 23 do óvulo e os 23 do espermatozóide, originando uma célula com 46 cromossomos. Essa célula começa a se dividir, duplicando os cromossomos homólogos e</i></p>

<p><i>Depois da divisão celular o feto fecundado leva cerca de nove meses para se desenvolver, passando por vários estágios de desenvolvimento.</i></p> <p><i>Mas não pense que o material genético do espermatozóide é igual aos das outras células de seu corpo, como por exemplo, dos tecidos (da pele, do estômago, do fígado e etc.), esses materiais genéticos são diferentes dos materiais que os espermatozoides carregam.</i></p> <p><i>É assim que eu imagino que seja fazer uma viagem imaginária.</i></p>	<p><i>separando as cromátides, uma única célula se transforma em duas e assim por diante até formar bilhões de células, esse processo de divisão celular é chamado de mitose.</i></p> <p><i>Os cromossomos são o DNA condensado, antes do DNA se condensar, ele fica todo emaranhado com a aparência de um novelo de lã: o DNA se localiza no interior da célula, no núcleo.</i></p> <p><i>Todas as células do nosso corpo são iguais, ou seja, possuem o mesmo material genético, menos o óvulo e o espermatozóide.</i></p> <p><i>E no cromossomo há genes que atribuem características, por exemplo: para o tipo do cabelo, cor dos olhos e cor da pele.</i></p> <p><i>O homem produz vários espermatozoides, cada um deles com uma informação hereditária diferente, mas que se origina do DNA desse homem, por isso há milhares de combinações de características quando o espermatozóide fecunda o óvulo. Então esse é o motivo de filhos dos mesmos pais nascerem diferentes.</i></p>
---	---

Em outro exemplo, a estudante 8D6 apresenta um conjunto de conhecimentos prévios parecido com o descrito anteriormente e, após o período de aprendizagem, ele consegue se apropriar das principais idéias sobre a herança das características transmitidas pelo professor. Além de utilizar e descrever adequadamente os conceitos tratados em sala de aula, a estudante utiliza o conhecimento apreendido sobre grupos sanguíneos para defender suas idéias, demonstrando claramente o entendimento das noções de variabilidade genética apresentada pelo professor/pesquisador.

Aluno: 8D6	
Pré-teste	Pós-teste
<i>Se eu pudesse ficar muito pequena, do tamanho de uma bactéria, eu entraria em um espermatozóide e em um óvulo e veria</i>	<i>Se eu pudesse ficar muito pequena, a ponto de entrar em um espermatozóide e um óvulo, dentro deles eu veria genes, cromossomos e DNA</i>

<p><i>o DNA que formaria as características de outro ser vivo. A diferença entre eles seria o material genético que fica no DNA, os dois não possuem a mesma informação hereditária. Eu imagino que esta informação fique no núcleo do espermatozóide e do óvulo.</i></p> <p><i>Vários espermatozoides são produzidos pelos homens, mas eles não são iguais, cada um deles carrega informações genéticas diferentes. E se eu pudesse entrar em uma célula da pele ou de qualquer outra parte do corpo, eu perceberia que a informação genética deles não seria a mesma dos espermatozoides. Os espermatozoides carregam mais informações genéticas do que as células da pele, por exemplo.</i></p> <p><i>Quando um espermatozoide fecunda o óvulo as informações genéticas dos dois se juntam formando uma única célula que com o tempo vai se multiplicando até chegarem a bilhões de células para formar outro ser.</i></p> <p><i>Tudo isso nos faz pensar por que irmãos, filhos dos mesmos pais e mães são diferentes, pois espermatozoides e óvulos de uma mesma pessoa carregam informações genéticas diferentes, fazendo assim, seres diferentes também.</i></p>	<p><i>(material genético). Porém as informações genéticas do óvulo e do espermatozóide são diferentes.</i></p> <p><i>Tanto no espermatozóide quanto no óvulo as informações hereditárias ficam nos genes, mas eles não possuem as mesmas informações hereditárias. Os cromossomos são formados de DNA e os genes estão presentes nos cromossomos.</i></p> <p><i>Vários espermatozoides são produzidos pelos homens, mas nem todos carregam a mesma informação hereditária. Exemplo: se um homem tem o sangue tipo A, os genes podem ser AA ou AO, portanto os espermatozoides dele podem possuir A ou O, sendo assim um diferente do outro.</i></p> <p><i>Se comparássemos a informação genética de uma célula da pele com a de um espermatozóide não seria a mesma coisa, porque o espermatozóide possui 23 cromossomos e as células da pele 46.</i></p> <p><i>Agora, quando um espermatozóide fecunda um óvulo acontece, por exemplo:</i></p> <p><i>Pai – tipo sangüíneo – AO</i></p> <p><i>Mãe – tipo sangüíneo – BO</i></p> <p><i>Filho pode ser: AB, AO, BO, OO</i></p> <p><i>Portanto a informação genética pode ser diferente da presente nos pais e nos irmãos.</i></p> <p><i>Uma única célula pode originar um indivíduo de milhões de células através da mitose.</i></p>
---	--

Alguns alunos de sexta-série e, portanto, com 12 ou 13 anos de idade, também alcançaram níveis máximos de compreensão do conteúdo, como é o caso dos alunos 6C33 e 6C34, cujas produções foram transcritas integralmente e apresentadas a seguir. Em ambos os casos, verifica-se que os alunos se apropriaram do conteúdo apresentado pelo professor/pesquisador da mesma maneira que os alunos maiores de oitava-série. Esta é uma evidência de que os processos de divisão celular podem ser

tratados no ensino fundamental e isto pode contribuir para uma melhoria no aprendizado do tema em níveis mais elevados da escolaridade.

Aluno: 6C33	
Pré-teste	Pós-teste
<p><i>Se eu fosse do tamanho de uma célula eu passaria pelo corpo humano para ver como os órgãos funcionam, como o óvulo e o espermatozóide são. Eles são bem diferentes quanto ao formato, e também quanto ao DNA, o óvulo teria o DNA da mulher em cada célula que o compõe e o espermatozóide teria o DNA do homem em cada célula, mas tanto o DNA da mulher quanto o do homem seriam diferentes. O espermatozóide tem o mesmo material genético que todas as células do seu corpo e todos os espermatozóides do homem teriam o mesmo material genético. Quando o espermatozóide fecunda o óvulo os DNAs dos dois se misturam, formando um novo DNA, este estaria em uma célula que começaria a se dividir em muitas outras células formando tecidos e os tecidos formando órgãos e assim criando um bebê dentro da barriga da futura mãe. Depois deste passeio eu acho que irmãos do mesmo pai e da mesma mãe são diferentes, pois, a cada vez que o espermatozóide fecunda o óvulo ocorre a mistura de DNAs e ocorre uma mistura diferente. E assim eu acabei minha viagem pelo corpo humano.</i></p>	<p><i>Se eu pudesse ficar muito pequena eu veria o espermatozóide e o óvulo e como ocorre a divisão celular após a fecundação, veria como é a multiplicação celular. O óvulo é diferente do espermatozóide, além de seu formato, carregam informações hereditárias diferentes, aliás, a informação hereditária é o DNA, que está no núcleo de uma célula, quando o DNA se condensa ele vira cromossomos e neles estão os genes.</i></p> <p><i>Quando um espermatozóide fecunda um óvulo a informação hereditária do pai se junta com a da mãe, mas há milhões de espermatozóides, cada um com uma parte da informação genética, por isso a informação genética será diferente do pai e da mãe, pois além de apenas uma parte do DNA do pai estar no DNA do filho com a junção dele com o DNA da mãe, forma um novo material genético. Um espermatozóide é diferente do outro, pois carrega a metade dos cromossomos e com isso, metade do DNA do pai em um espermatozóide e a outra metade em outro.</i></p> <p><i>Uma célula da pele é diferente da do espermatozóide, pois ele só carrega a metade dos cromossomos. Uma célula se divide em muitas, duplicando os cromossomos e depois se dividindo. Um irmão não é igual a outro (apenas quando são gêmeos idênticos), pois há milhões de espermatozóides e eles não guardam a mesma informação hereditária. Por exemplo, eu não sou igual o meu irmão, pois outro espermatozóide tinha a informação genética diferente.</i></p>

Aluno: 6C34

Pré-teste

Eu veria o espermatozóide assim:

E óvulo assim:

As diferenças seriam que o espermatozóide seria mais comprido e fino e teria uma espécie de cauda, e o óvulo seria mais arredondado.

O espermatozóide e o óvulo não carregariam a mesma informação genética, pois o espermatozóide carrega a informação genética do homem e o óvulo da mulher.

Bom, já ouvi falar muito de gene, DNA e cromossomos, mas não sei direito o que são. Acredito que o DNA seja mais ou menos de acordo com a figura acima.

Espermatozóides de homens diferentes carregam uma informação genética diferente e de um mesmo homem a informação genética seria a mesma.

Sim, seria a mesma a informação

Pós-teste

Quando eu encolhi, vi dentro de um espermatozóide núcleo, citoplasma, membrana plasmática, DNA, e organelas citoplasmáticas, dentro do óvulo vi as mesmas coisas.

As diferenças entre o espermatozóide e o óvulo são que o espermatozóide vem do homem e possui cauda, já o óvulo vem da mulher e não possui cauda. Tanto o óvulo quanto o espermatozóide possuem informação genética diferente, porque um vem da mãe e o outro do pai.

Eu imagino o DNA assim:

Eu tenho certeza que tanto no óvulo quanto no espermatozóide a informação hereditária está localizada no núcleo.

Aprendi nas aulas de ciências o que são genes, DNA e cromossomos. E também aprendi que os genes estão presentes também no óvulo e no espermatozóide, o DNA e os cromossomos também.

<p><i>genética os dois pertencem a mesma pessoa.</i></p> <p><i>Quando um espermatozóide fecunda um óvulo a informação genética de ambas se mistura para dar características ao novo ser.</i></p> <p><i>Quando o espermatozóide fecunda um óvulo, esse óvulo começa a se dividir até ter células o bastante para formar um novo ser.</i></p> <p><i>Os filhos de um mesmo casal são diferentes porque cada um ficou com uma quantidade diferente do material genético dos seus pais.</i></p>	<p><i>Cada espermatozóide é diferente mesmo sendo do mesmo homem, pois eles não carregam a mesma informação genética, pois há milhões de combinações e é muito difícil elas serem iguais.</i></p> <p><i>Não, porque o espermatozóide possui 23 cromossomos e a célula da pele possui 46 cromossomos. O espermatozóide possui metade do número de cromossomos porque quando ele fecundar um óvulo (que também possui 23 cromossomos) criará uma célula com 46 cromossomos.</i></p> <p><i>Quando um espermatozóide fecunda um óvulo a informação genética se junta com o do outro. Um filho possui a informação genética diferente dos pais porque ele recebeu metade do DNA de cada um.</i></p> <p><i>Para gerar um novo ser o óvulo fecundado começa a se dividir pela mitose, ou seja, ela começa a produzir células idênticas a original.</i></p> <p><i>Dois irmãos, filhos de mesmos pais, são diferentes porque possuem a informação genética diferente um do outro.</i></p>
--	--

Padrão C1 – DI: apropriação idiossincrática

Alguns estudantes, apesar de possuírem um conjunto significativo de informações antes do período de ensino formal, não demonstram uma apropriação significativa do conteúdo tratado em sala de aula. No exemplo abaixo, o aluno 6D4 (6ª série) utiliza um conjunto de conhecimentos prévios sobre a localização e transmissão da informação genética. Entretanto, em sua segunda redação, não se verifica uma mudança significativa no seu conjunto de conhecimentos. Além disso, ele utiliza uma série de imagens e analogias que tornam sua segunda redação idiossincrática.

Aluno: 6D4	
Pré-teste	Pós-teste
<p><i>Queria descobrir por que eu era tão diferente dos meus irmãos, aí fiquei do tamanho de uma bactéria e ao ver muitos espermatozóides passarem entrei em um. No começo eu vi muitos cromossomos e mais adiante o DNA, ele era muito estranho.</i></p> <p><i>Quando reparei estava perto do óvulo e corri para lá, quando entrei foi a mesma coisa, mas quando bati o olho no DNA percebi que ele era diferente e fiquei com uma dúvida: será que todos os óvulos tem DNAs diferentes? E comecei a entrar em um monte de óvulos e eram todos diferentes, foi aí que percebi que as informações hereditárias eram diferentes, os DNAs ficam todos no centro dos espermatozóides e óvulos. Mas o incrível era a quantidade de cromossomos e genes que existem em apenas um DNA.</i></p> <p><i>Até agora eu pensava que todos os espermatozóides eram iguais, mas eles são todos diferentes, o que faz todas as diferenças um do outro. Então surgiu outra dúvida: e os outros? Será que são iguais? Claro, com a minha curiosidade fui pesquisar no estômago e comparar com o fígado e com o músculo, e eram também diferentes.</i></p> <p><i>Voltando tudo vi uma cena que não podia perder, um espermatozóide fecundando um óvulo, corri e cheguei, eu sei que tudo estava se juntando, agora iria nascer uma criança que geraria bilhões de células. Agora eu sei por que sou tão</i></p>	<p><i>Era um dia normal, estávamos na aula de ciências no laboratório. A professora estava nos mostrando os espermatozóides, óvulos, cromossomos, genes e outras células da pele, etc.</i></p> <p><i>Eu não estava entendendo então decidi imaginar que estava pequeno para ver o que tinha dentro. Quando abri os olhos estava minúsculo e a minha frente havia uma fileira de pratelinhas de vidro e sobre elas estavam espermatozóides, óvulos, cromossomos, genes, etc. Bom, se eu queria descobrir não tinha que simplesmente ficar olhando, cheguei mais perto, ele era meio transparente, esbranquiçado e pegajoso, e olhando bem de perto você conseguiria ver tudo perfeitamente como se fosse um vidro onde por trás estavam as coisas. Por dentro dele você consegue ver várias coisas, mas o que mais achei estranho foram as organelas, também vi o citoplasma e o mais importante, o núcleo. Olhando bem você conseguiria ver o DNA e dentro deles os cromossomos.</i></p> <p><i>Quando estava quase saindo vi como se fosse um rabo no cromossomo que parecia ser o gene, olhei bem e dei um salto:</i></p> <p><i>- Nossa! Mas como é pequeno!</i></p> <p><i>Então eu fui para o óvulo, foi a mesma coisa, mas existia uma diferença entre os dois, as informações hereditárias eram diferentes.</i></p> <p><i>Parecia que as informações mandavam em tudo, pois ficavam bem no centro dos dois, finalmente estava satisfeito por saber que existem genes, DNA e cromossomos.</i></p> <p><i>Eu pensava que existiam diferentes tipos de espermatozóides e óvulos, mas não, são todos iguais e carregam a mesma informação, fui a uma célula</i></p>

<i>diferente de meu irmão.</i>	<i>da pele e também tinham as mesmas informações,</i>
	<i>do lado dela havia um óvulo sendo fecundado, as informações estavam se juntando e gerando muitas outras células, agora eu sei por que sou diferente dos outros e do meu irmão.</i>

Padrão C2 – D2: mais conhecimento sem modificação

Como os alunos que foram classificados dentro de grupos C0-D0 ou C1-D1, no padrão C2-D2 foram agrupados os alunos que já sabiam que os gametas possuem metade da informação genética das células somáticas e que conservam essa idéia, sem, contudo, sofisticá-la; demonstrando a apropriação da noção de variabilidade genética e conhecimento sobre os processos de divisão celular. No caso do aluno 8E28, por exemplo, as redações produzidas antes e após o período de ensino formal não são muito diferentes.

Aluno: 8E28	
Pré-teste	Pós-teste
<i>Um dia eu sonhei que era tão pequeno que poderia entrar num espermatozóide ou um óvulo. Primeiro vou contar como foi minha viagem pelo espermatozóide. Percorri o espermatozóide de ponta a ponta e vi que era branquinho, com um rabo e com 23 cromossomos e o óvulo também, eu acho que não há muitas diferenças entre os dois, o óvulo tem o formato de ovo e é maior que o espermatozóide. Em minha opinião eles não têm a mesma informação hereditária, porque cada pessoa tem uma cor de olho, de cabelo etc. A informação está localizada no espermatozóide inteiro, mas</i>	<i>Se eu fosse pequeno e pudesse entrar em um espermatozóide ou óvulo eu veria 23 cromossomos em cada um (óvulo e espermatozóide), membrana nuclear, núcleo, etc. Existem muitas diferenças entre o óvulo e o espermatozóide, o óvulo contém informações no DNA da mulher, tem forma de ovo e é maior que o espermatozóide. O espermatozóide possui informações no DNA do homem, é muito menor que o óvulo, parece uma “cobra”. Como eu já expliquei cada um leva uma informação hereditária, pode haver coincidências, por exemplo, se o pai e a mãe possuírem diabetes, provavelmente o filho terá diabetes. Estas informações estão localizadas no DNA que está localizada na célula, que está localizada</i>

<p><i>principalmente na cabeça. Cada espermatozóide e óvulo têm seu DNA que é formado por genes e cromossomos.</i></p> <p><i>As células não são iguais nem tem informações iguais, porque cada célula é responsável por uma parte do corpo, quando um espermatozóide fecunda um óvulo as informações hereditárias se fundem.</i></p>	<p><i>nos cromossomos.</i></p> <p><i>Os genes estão situados nas células, que estão nos cromossomos, que estão no espermatozóide ou óvulo, então, os genes estão indiretamente situados no óvulo ou espermatozóide.</i></p> <p><i>Os espermatozoides levam a mesma informação hereditária, mas levam características diferentes (cor dos olhos, cabelo, pele, etc.). Se eu pudesse entrar numa célula teriam as mesmas coisas contidas no espermatozóide ou óvulo.</i></p> <p><i>Quando o espermatozóide fecunda o óvulo as informações se misturam e algumas prevalecem.</i></p> <p><i>Existem irmãos diferentes sim, por exemplo, as informações da cor do cabelo, olhos e pele variam nos espermatozoides e óvulos.</i></p>
--	--

Padrão C2 – D3: apropriação sincrética de conhecimento

Alguns alunos, ao longo do período de escolarização, constroem explicações sincréticas para os fenômenos, utilizando palavras-chave provindas do universo de produção de conhecimento acadêmico que ganham significados cotidianos (Santos, 2005 e 2006). No exemplo a seguir, pode-se observar que o aluno 8D28 utiliza vários conceitos científicos, tais como leucócitos, cromossomos X e Y, gêmeos univitelinos e bivitelinos. Entretanto, seu uso, muitas vezes, é inadequado como, por exemplo, quando o aluno diz que as hemácias são seres procariontes. Outra idéia muito comum, que se verifica na redação deste estudante, é a descrição de dominância como se os genes com esse padrão de herança fossem “mais fortes” do que os “genes recessivos”. A conservação de algumas idéias é demonstrada quando o aluno trata dos cromossomos X e Y em ambas as redações produzidas antes e após o período de ensino formal, bem como a idéia de “mistura de informações hereditárias” dos pais e da idéia de dominância como sinônimo de “ser mais forte”.

Aluno: 8D28	
Pré-teste	Pós-teste
<p><i>Se pequeno fosse eu, e entrasse no corpo humano e descobrisse novas coisas, observaria várias células eucariontes (leucócitos, espermatozoides) e procariontes (hemácias).</i></p> <p><i>Mas perceberia também que há duas células importantes para o surgimento de um novo ser humano, o óvulo e o espermatozoide. Veria em cada um deles informações passadas de pai para filho, chamadas informações hereditárias, iguais para cada espermatozoide vindos de um único homem. Veria no espermatozoide informações hereditárias e também os famosos cromossomos X e Y, mas cada espermatozoide carrega apenas um cromossomo, assim se um penetrar no óvulo e for o cromossomo X, a partir da meiose, a célula (embrião) se dividiria e surgiria uma menina. Mas se for um espermatozoide com cromossomos Y, surgiria um menino. A partir da meiose e da junção do óvulo com o espermatozoide haveria um ser com DNA, carga genética, e genes próprios. Mas antes, apenas as informações hereditárias mais fortes (dominantes) haveria no novo ser, as recessivas, seriam descartadas.</i></p> <p><i>E sim, o espermatozoide carrega as informações hereditárias do pai, o óvulo, as da mãe e a junção dessas informações, cria um novo ser diferentes de qualquer um, por isso irmãos e gêmeos bivitelinos são diferentes, já irmãos univitelinos, tem</i></p>	<p><i>Eu veria dentro do óvulo as informações hereditárias e 23 cromossomos vindos da mãe, já no espermatozoide eu veria 23 cromossomos e as informações hereditárias vindas do pai. As informações hereditárias são informações contidas nos genes de cada cromossomo de um ser, que ao se juntarem (zigoto) se tornam uma só.</i></p> <p><i>Dentro de cada célula sexual há DNA, cromossomos, genes, que no óvulo são da mãe e no espermatozoide do pai. Cada espermatozoide tem um cromossomo sexual variado, ou seja, um espermatozoide pode tanto carregar um cromossomo X quanto Y, mas apenas um. Esta é a diferença entre os espermatozoides.</i></p> <p><i>A diferença das células sexuais para as demais células é que as sexuais apresentam 23 cromossomos e no óvulo há apenas as informações hereditárias da mãe e no espermatozoide, as informações do pai.</i></p> <p><i>Quando um espermatozoide fecunda o óvulo as informações hereditárias se misturam e há o processo em que as características dominantes prevalecem sobre as recessivas e começa a surgir o zigoto com o processo de divisão celular.</i></p> <p><i>Há dois tipos de processos de divisão celular, a mitose e a meiose. A mitose acontece em todas as células do corpo menos nas sexuais e seu objetivo é formar duas células filhas com o mesmo número de cromossomos da célula mãe. Já a meiose acontece apenas nas células sexuais e seu objetivo é formar quatro células filhas com metade do número de cromossomos da célula mãe.</i></p> <p><i>Esta viagem que fiz responde por que filhos de</i></p>

<i>suas aparências iguais mas não o mesmo DNA, o seu código genético.</i>	<i>um mesmo casal são diferentes, pois há uma variedade de combinações de alelos que dão origem a uma imensa diversidade de seres humanos.</i>
<i>E sim, as informações hereditárias de um óvulo e espermatozóide são diferentes de qualquer outra célula do corpo.</i>	

Padrão: C3 – D2: alunos com repertório prévio

Alguns alunos apresentam um repertório de conhecimentos prévios que os aproximam da compreensão científica sobre a localização e transmissão da informação genética. Na verdade, esses alunos mostram entender parte dos conhecimentos que foram tratados durante a sequência didática. A aluna 6A5, em sua primeira redação, por exemplo, diz que espermatozóides e óvulos não carregam a mesma informação hereditária; que o DNA pode estar sob a forma de cromossomo; que gene é uma parte do DNA. Ela também reconhece que os espermatozóides produzidos por um mesmo homem não carregam a mesma informação hereditária, caso contrário todos os filhos seriam idênticos. Após a intervenção, a aluna sofisticou a sua descrição, mostrando que houve apropriação de conhecimentos. Entretanto, essa descrição somente reproduz as falas do professor/pesquisador e ela não demonstra entendimento da ideia de variabilidade genética.

Aluno: 6A5	
Pré-teste	Pós-teste
<i>Um dia eu sonhei que eu fui ver microscópios com meu pai. Lá havia um guia que mostrava células e várias outras coisas para nós. Ele nos mostrou o que há dentro de um espermatozóide e do óvulo. Dentro do espermatozóide há várias formas de cobrinhas, e no óvulo também, são formas compridas, uma em cima da outra e encaixadas, estão em um lugar que parece uma gelatina. Mas eu vi que há uma diferença entre os dois: os espermatozóides têm formas de cobrinhas</i>	<i>Um dia, eu resolvi ir ao trabalho do meu pai. Lá havia vários tubos de ensaio para fazer poções. Meu pai me deixou sozinha lá dentro e me deixou fazer qualquer poção que eu quisesse, mas com cuidado.</i> <i>Eu inventei uma poção qualquer, fui colocando tudo o que via na frente. Depois de algumas horas ela ficou pronta. Sem querer eu confundi a poção com meu refrigerante e a bebi. Foi muito estranho! Quando eu abri os olhos havia uma formiga gigante do meu lado. Depois percebi que não era uma formiga gigante, eu havia encolhido.</i>

maís compridas e o óvulo menor. O guia disse que o óvulo e espermatozóide não carregam a mesma informação hereditária. Eles estão localizados na genética, o DNA é o material genético que está na célula.

O cromossomo é uma forma que pode estar o DNA, que é o material genético. Gene é uma parte do DNA. Os genes existem no espermatozóide, no óvulo e claro, no DNA, que pode estar em forma de cromossomos.

Depois do guia explicar tudo isso, havia um quadro cheio de informações, e eu curiosa, li tudo.

Os espermatozóides são produzidos pelos homens. Mas eles não carregam a mesma informação hereditária, porque se carregassem os filhos de todas as pessoas seriam parecidos.

O guia nos passou um filme onde parecia que estávamos dentro de várias células, e eu descobri que a célula da pele e de qualquer parte do corpo, não é a mesma do espermatozóide, porque cada uma tem a sua função e cada uma transmite informações diferentes.

Quando um espermatozóide fecunda um óvulo, “pegam” uma parte do gene da mulher e do homem, depois que nasce o filho, ele fica parecido com os pais, por causa do gene. A mulher dá o óvulo e o homem o espermatozóide.

Uma única célula origina um indivíduo com bilhões de células, porque esta célula se divide.

Eu também vi que os filhos de um mesmo

Uma moça entrou na sala onde eu estava. De repente eu estava dentro dela! Na hora eu desmaiei. Mas quando acordei, eu estava em uma célula, o óvulo. Lá havia o citoplasma, onde acontecem as reações químicas, a membrana plasmática, que seleciona o que entra e o que sai da célula e o núcleo, onde está a informação genética do nosso corpo. Eu já sabia de tudo isso por causa das aulas de ciências. Também vi os 23 cromossomos (DNA condensado), pois o óvulo e o espermatozóide são as únicas células que contêm 23 cromossomos.

As diferenças entre o óvulo e o espermatozóide são: os óvulos pertencem as mulheres e os espermatozóides pertencem aos homens.

Os gametas não carregam a mesma informação hereditária, cada um contém sua própria característica, proteína. Ela estaria localizada no núcleo.

Os genes são partes do DNA. Eles produzem as proteínas que conduzem às características.

DNA é a informação hereditária.

Cromossomo é o DNA condensado, enrolado.

Existem genes e DNA nos gametas, e claro, também o cromossomo.

Todos os espermatozóides de um homem não contêm a mesma informação hereditária, porque se eles tivessem seus filhos sempre seriam gêmeos.

Nenhuma célula contém a mesma informação hereditária do que outra, cada uma tem a característica própria. Por exemplo, uma célula da pele produz a cor do nosso corpo. Uma célula do olho produz a cor do olho.

Há dois tipos de clonagem: a reprodutiva e a terapêutica. A reprodutiva retira a célula de qualquer parte do nosso corpo e coloca no óvulo,

<p><i>casal são diferentes porque cada um tem uma parte diferente dos genes.</i></p> <p><i>Eu acordei desse lindo sonho, e também acordei muito sabido. Adorei esse sonho!</i></p>	<p><i>depois coloca no útero. A terapêutica, em vez de mandar para o útero, manda para o laboratório para ser estudada.</i></p> <p><i>A informação genética dos filhos é diferente dos pais porque quando o espermatozóide fecunda o óvulo, o filho pega um pouco de informação do pai e da mãe.</i></p> <p><i>Uma célula origina um indivíduo com bilhões de células através da mitose e da meiose.</i></p>
--	--

Padrão C3 – D3: quem sabe, sabe.

Os alunos com este padrão de aprendizagem já compartilhavam de um conjunto de conhecimentos científicos sobre a localização e transmissão da informação genética, e essa rede de conhecimentos prévios se modifica sob a influência do período de aprendizagem escolar. Os alunos se apropriam dos novos conhecimentos, aperfeiçoando as descrições sobre os processos biológicos. Por exemplo, as duas redações produzidas pelo aluno 8E27 divergem em relação às explicações sobre a herança de grupos sanguíneos. O aluno já sabia localizar a informação genética no núcleo da célula e relacionava adequadamente os conceitos sobre DNA, genes e cromossomos. Dessa maneira, ele se apropriou dos conhecimentos oferecidos pelo professor que já eram conhecidos por ele, valorizando, em sua segunda redação, as idéias novas sobre grupos sanguíneos. Este aluno foi um dos poucos que se apropriou de termos mais sofisticados, como cromossomos homólogos fazendo uma referência adequada às síndromes genéticas.

Aluno: 8E27	
Pré-teste	Pós-teste
<p><i>Eu veria o citoplasma e o núcleo, e dentro do núcleo veria as informações genéticas como o DNA e os cromossomos dentro do óvulo ou do espermatozóide.</i></p> <p><i>Por dentro não veria diferenças entre o espermatozóide e o óvulo, embora os cromossomos não sejam os mesmos.</i></p> <p><i>Os dois não carregam a mesma</i></p>	<p><i>Eu veria depois de atravessar a membrana plasmática, o citoplasma e o núcleo, dentro dele haveria somente 23 cromossomos, se essa célula fosse um gameta.</i></p> <p><i>A única diferença externa é que o óvulo é muito maior que o espermatozóide. A informação hereditária também é diferente, os espermatozóides possuem 23 cromossomos com</i></p>

informação hereditária, quando os dois se juntam as informações se completam e nascerá uma criança herdando informações físicas e psicológicas dos pais e dos familiares também.

Dentro dos espermatozoides, produzidos de uma só vez por um mesmo homem, há informações diferentes. O espermatozoide sobrevivente (o que chega ao óvulo) contém as informações que estão presentes em você, caso fosse outro espermatozoide o sobrevivente, você, com certeza, seria um pouco diferente.

Outras células do corpo são diferentes e contém a informação genética completa, um gameta possui os cromossomos pela metade (23 cromossomos) para que os gametas se encontrem e juntem as informações do homem e da mulher.

As células têm a capacidade de se reproduzir, isso explica porque uma célula fecundada gera um organismo multicelular com bilhões de células.

Irmãos, filhos de um mesmo casal são diferentes (obs: eu não responderei esta pergunta, pois o texto acima mostra isso, mas eu vou acrescentar uma coisa interessante).

Gêmeos:

Os iguais: um único óvulo é fecundado e na hora do desenvolvimento (reprodução da célula), acaba crescendo dois fetos que tem a informação dos mesmos gametas e por isso são iguais.

Os diferentes: a mulher pode ter dois óvulos ao mesmo tempo e quando os dois são fecundados nascem duas crianças

genes do pai e o óvulo carrega os genes da mãe. A informação hereditária está situada nos cromossomos. Existem genes nos cromossomos dos gametas.

Dentro de cada gameta não existem cromossomos homólogos, com exceção das síndromes cromossômicas.

Espermatozoides produzidos por um mesmo homem não são iguais, na hora da meiose, formam-se quatro células diferentes (com a informação hereditária diferente), caso contrário, todos os filhos de um mesmo casal seriam iguais.

As células da pele, por exemplo, são diferentes dos gametas, já que os gametas possuem apenas metade dos cromossomos que existem numa célula da pele.

Quando um espermatozoide fecunda um óvulo, os cromossomos homólogos se unem e formam o zigoto.

A informação hereditária do filho é diferente da presente nos pais já que combinam as informações (23 cromossomos + 23 cromossomos = 46 cromossomos)

Ex: mãe - sangue AO; pai - sangue BO; filhos: AB, AO, BO, OO

O filho de um casal não possui as mesmas informações hereditárias que as dos pais.

Uma célula origina outras através da mitose, que mantém o número de cromossomos.

Como no exemplo do sangue, filhos do mesmo casal são diferentes.

Ex: Um casal - sangue: AO e BO

Eles terão quatro filhos, há chance de:

- um filho ter o sangue AB
- um filho ter o sangue AO
- um filho ter o sangue BO
- um filho ter o sangue OO

<i>juntas, mas diferentes.</i>	<i>Quatro filhos de um mesmo casal são diferentes.</i>
<i>* Alguns conceitos podem estar confusos e trocados, eu não me recordo completamente de algumas coisas, mas tudo que eu sei eu escrevi.</i>	

Produções idiossincráticas

Alguns alunos utilizaram imagens e analogias muito pessoais em suas redações, revelando conhecimentos que se assemelham ao modelo pré-formista aceito por cientistas no passado. Muitas dessas imagens trazem à tona a idéia de que o espermatozóide carrega um ser em miniatura em seu interior ou que dentro dele haveria sangue, como reportado por Santos (2005). Em seguida, apresentaremos quatro exemplos dessas produções.

No primeiro exemplo, o aluno 6C32 acredita que os genes e cromossomos devem ser carregados na cauda do espermatozóide, mostrando que, na perspectiva do estudante, essas estruturas são independentes. Após o período de ensino formal, o aluno localiza adequadamente as estruturas na célula, mas afirma que o espermatozóide e o óvulo são seres unicelulares, demonstrando, dessa maneira, a conservação de uma noção prévia pré-formista. Em seus desenhos, é possível observar que existem células dentro do espermatozóide.

Aluno: 6C32 (CI-D1)	
Pré-teste	Pós-teste
<p><i>Hoje eu irei fazer uma viagem para o organismo. Vamos ver o que há dentro de um espermatozóide. Dentro do espermatozóide há o DNA de homem que quando se encontra com o óvulo que tem o</i></p>	<p><i>Olha, eu estou dentro do corpo humano, acabei de entrar em um espermatozóide e logo depois irei ao óvulo. Dentro do espermatozóide eu estou vendo uma célula, ela é formada por:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <i>- citoplasma</i> <i>- membrana plasmática</i> <i>- membrana nuclear</i> <i>- núcleo</i> <i>- organelas</i> <p><i>O espermatozóide é um ser unicelular, ou seja, é formado por uma única célula, a</i></p>

DNA da mulher, há a fecundação. A fecundação ocorre, pois há uma diferença entre o espermatozóide e o óvulo, que é o DNA e assim quando eles se encontram, juntam os dois DNAs ocorrendo a fecundação, fazendo com que comece a primeira fase para o bebê evoluir.

informação hereditária do homem que pode também ser encontrada no espermatozóide está localizada no núcleo da célula, isso também acontece com o óvulo apenas muda a informação hereditária que no caso seria da mulher, o resto é semelhante, ambos são unicelulares. O homem produz vários espermatozóides, todos contendo a mesma informação hereditária, pois eles vêm da mesma pessoa, isso acontece também com todas as células do corpo, pois elas estão na mesma pessoa.

Quando o espermatozóide fecunda o óvulo forma a primeira célula e ela se divide. A informação genética do filho é diferente da dos pais, pois há vários tipos sanguíneos. Os filhos são diferentes, pois há várias combinações de genes.

Obs. O DNA, cromossomos e os genes estão localizados no núcleo.

O segundo estudante 6A16 entende que o espermatozóide irá formar uma larva que crescerá dentro do óvulo, demonstrando acreditar em um modelo pré-formista também. Após a aplicação da sequência didática, o aluno localiza a informação hereditária dentro do núcleo e reconhece que o óvulo e o espermatozóide possuem 23 cromossomos, diferente do zigoto que possui 46 cromossomos.

Aluno: 6A16 (CI-D2)	
Pré-teste	Pós-teste
<p>Eu estou mostrando o percurso dos espermatozoides.</p> <p>Os espermatozoides se preparariam para correr até o óvulo, os mais rápidos são os de boa qualidade, os lentos não, depois de o primeiro espermatozoide entrar, ele começa sua preparação.</p> <p>O espermatozoide depois de um tempo no óvulo, começa a virar parecido com uma larva, depois tem a formação dos ossos, os pulmões, o coração, os olhos, o nariz, a boca, as orelhas e assim por diante.</p> <p>Depois de oito meses acontece a gravidez que o bebê se prepara para sair e começar a viver.</p>	<p>No espermatozoide veríamos dentro organelas como o citoplasma, membrana plasmática, núcleo que dentro está 23 cromossomos, o óvulo é a mesma coisa, com organelas, citoplasma, membrana plasmática e o núcleo com 23 cromossomos.</p> <p>A diferença do espermatozoide e do óvulo é que o espermatozoide tem 23 cromossomos do homem e o óvulo tem 23 cromossomos da mulher, que se juntam depois para formar 46 cromossomos ou 23 pares de cromossomos.</p> <p>Não, porque as informações hereditárias do espermatozoide vieram do homem e as informações hereditárias do óvulo vieram da mulher. Eu imagino que a informação hereditária seja os genes que vieram do pai e da mãe.</p> <p>Sim, o gene é a informação hereditária, o DNA e tem várias moléculas dentro e os genes estão dentro dele, os cromossomos são aqueles que dentro têm o DNA e os genes. Sim, porque estão dentro do DNA que também está dentro do cromossomo.</p> <p>Não, porque todos eles foram feitos pelo homem e se fossem iguais eles teriam filhos iguais.</p> <p>Não, eles têm números diferentes.</p> <p>Ela ia se juntar com a informação hereditária com o espermatozoide e o óvulo, porque junta o do pai e da mãe.</p> <p>Os cromossomos são puxados dividindo em outra célula, por exemplo, quatro cromossomos são puxados dividindo e formando duas células com quatro cromossomos.</p>

No terceiro exemplo, o estudante 6B17 utiliza uma série de imagens para descrever o espermatozóide e o óvulo. Em seu desenho, parece que o óvulo penetra no espermatozóide e não o contrário. No pós-teste, o aluno elabora uma redação que demonstra aprendizagem significativa do conteúdo tratado em sala de aula.

Aluno: 6B17 (CI-D3)	
Pré-teste	Pós-teste
<p><i>Sonhei que era uma bactéria não patogênica e que iria ver um espermatozóide e um óvulo. Então eu cheguei bem perto deles.</i></p> <p><i>O espermatozóide era bem parecido com um girino, era gelado e mais ou menos num tom preto. E lá dentro deles tinham bolinhas.</i></p> <p><i>O óvulo era meio parecido com uma massinha de modelar, gelatinoso, gelado e mais ou menos rosa, salmão. Dentro do óvulo tinha bolinhas da mesma cor deles.</i></p> <p><i>E o mais engraçado é que a quantidade em que eles aparecem é absurda e cada um tem um detalhe que o outro não tem. São diferentes uns dos outros.</i></p> <p><i>Outro fato bem legal do sonho é que eu vi um neurônio, ele era bem diferente do espermatozóide e da célula.</i></p> <p><i>Não sei como quase todo ser humano consegue ser tão diferente uns dos outros.</i></p> <p><i>Esse sonho me ensinou muitas coisas sobre o corpo humano, espero sonhar mais vezes com isso.</i></p>	<p><i>Se eu pudesse ficar muito pequeno eu veria o material genético de um espermatozóide e de um óvulo, o núcleo, o citoplasma, as organelas e outras coisas que existem em uma célula. A diferença que eu veria neles seria o formato que eles têm.</i></p> <p><i>O espermatozóide e o óvulo possuem 23 cromossomos, quando o espermatozóide fecunda o óvulo forma-se um ser com 46 cromossomos. Esta informação hereditária está localizada no núcleo das células em forma de cromossomos, que são o DNA condensado.</i></p> <p><i>No espermatozóide e no óvulo existem genes, DNA e cromossomos. Os genes são códigos (receitas) que produzem proteínas e condicionam uma característica, o DNA é o que vem de nossos pais para nós, por exemplo, a cor do cabelo, e os cromossomos são o DNA condensado.</i></p> <p><i>Os homens produzem muitos espermatozóides, cada um com uma informação hereditária, pois cada um tem um gene que condiciona uma característica.</i></p> <p><i>Quando um espermatozóide fecunda um óvulo a informação hereditária forma um embrião.</i></p> <p><i>Dois irmãos, filhos dos mesmos pais, são diferentes porque foram dois óvulos e dois espermatozóides diferentes.</i></p>

Como relatado anteriormente, muitos alunos não modificam suas idéias mesmo após o período de ensino formal. No último exemplo selecionado, o aluno 6B14 demonstra um padrão diferenciado. Em ambas as redações produzidas, ele utiliza um mesmo conjunto de imagens para descrever como a informação genética estaria organizada dentro dos gametas e das células somáticas. As idéias e descrições usadas pelo estudante antes da intervenção se conservam e incorporam poucas idéias tratadas pelo professor/pesquisador em sala de aula.

Aluno: 6B14 (CI-DI)	
Pré-teste	Pós-teste
<p><i>Se eu fosse menor que uma mosca, menor que um mosquito, menor que uma minúscula célula eu entraria em um óvulo e veria ele azul e cheio de gosminhas molhadas. E depois entraria num espermatozóide e acharia nojento só que mais áspero. O espermatozóide dá um DNA diferente do óvulo.</i></p> <p><i>Os irmãos filhos de um mesmo casal são diferentes, pois o óvulo e o espermatozóide dão coisas diferentes.</i></p>	<p><i>Se eu fosse bem pequena e entrasse em um óvulo veria tudo vermelho. Por fora eu veria tudo sem cor. E veria genes muito pequenos com riscos por dentro mostrando as características de alguém e os DNAs todos enrolados dentro dos cromossomos. Veria vários tipos de células como as do sangue, glóbulos vermelhos e brancos passeando pelo corpo. Mas cada óvulo carregava vários tipos de informações hereditárias, que logo depois se separou formando quatro, cada uma com um risco. Depois eu vi a briga que foi para uma única célula formar um indivíduo com bilhões de células, foi um processo estranho quando se separaram, pois foi nojento.</i></p> <p><i>Este passeio que fiz dentro de um ser foi divertido e deu para perceber que um irmão é diferente do outro, porque os pais dão diferentes características, outros genes.</i></p>

5. DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

Nesta pesquisa, foram descritas as compreensões de estudantes do ensino fundamental sobre a localização da informação genética, sobre as relações entre DNA, gene e cromossomo e sobre os processos de divisão celular, anteriores e posteriores à aplicação de uma sequência didática; a qual, por sua vez, foi completamente documentada e descrita também neste trabalho. Para levantar as compreensões dos estudantes, diferentemente do que tradicionalmente é encontrado na literatura, aplicamos um questionário antes do processo de ensino formal para descrever quanto e o quê os alunos sabiam sobre o tema que seria tratado em sala de aula. Todos os alunos amostrados acertaram 10% das questões, o que se explica simplesmente pelo acaso. Entretanto, a maioria deles respondeu de 30 a 40% das perguntas adequadamente antes de aprender formalmente o tema. Isto significa que os alunos de oitava-série possuíam um conjunto de conhecimentos prévios sobre o tema que poderiam ou não facilitar a aprendizagem. Depois da aplicação de uma sequência didática houve uma evolução considerável do entendimento dos estudantes sobre o conteúdo estudado. Nenhum aluno acertou a totalidade das questões e isto era esperado, pois uma parte do questionário sobre reprodução sexuada em plantas não foi tratada em sala de aula e, portanto, os alunos não conheciam este assunto.

As crianças brasileiras de 12 a 15 anos de idade compartilham concepções prévias semelhantes àsquelas encontradas entre adolescentes e profissionais já graduados de diferentes culturas. A maior parte dos alunos não sabe descrever o que é DNA, gene ou cromossomo apesar de conhecer esses termos veiculados diariamente pelos meios de comunicação. Antes do ensino formal e mesmo após um período de aprendizagem, os alunos pensam que essas estruturas são independentes umas das outras e as desenham ora no núcleo e ora no citoplasma. Em relação aos processos de divisão celular, os alunos não reconhecem que os gametas carregam metade da informação genética encontrada em outras células do corpo, principalmente porque eles acreditam que cada célula possui apenas a informação necessária para realizar suas funções. Essas barreiras descritas anteriormente entre alunos do ensino médio são encontradas entre crianças de 12 anos de idade e, possivelmente, devem ser construídas ainda na infância. Nos primeiros anos da escola básica, as crianças devem aprender com seus professores não-especialistas idéias cotidianas e representações distorcidas, as quais tendem a se conservar ao longo da escolarização. Essa hipótese deve ser investigada cuidadosamente, porque a educação escolar, neste caso, pode

contribuir para formar barreiras conceituais e não compreensões científicas sobre um determinado fenômeno. Em que momento as crianças aprendem os conceitos sobre a organização celular? Como os professores abordam esse tema? Do que e como descrevem o núcleo e as estruturas nucleares como gene e DNA? Nas redações elaboradas pelos alunos de sexta e oitava série, a maioria deles descreveu o DNA usando uma imagem frequentemente utilizada pelos meios de comunicação, que é o formato de dupla hélice e repetiram sistematicamente que cada pessoa possui o seu DNA diferente de outro indivíduo (veja, por exemplo, a transcrição integral da redação elaborada durante o pré-teste dos alunos 6B19 ou 6C34). A contribuição dos meios de comunicação deve ser investigada para compreensão de quanto os alunos se apropriam das imagens veiculadas diariamente por esses meios.

A aplicação do questionário modificado de Lewis permitiu dizer quanto os alunos acertaram ou erraram, mas dificilmente esse instrumento favoreceria a compreensão de como os alunos organizam suas idéias ou como distorcem o conhecimento. A utilização de instrumento qualitativo como a elaboração de redações a partir de situações-problema possibilita ao professor e aos pesquisadores descreverem melhor as idéias dos alunos e as mudanças ou não na sua maneira de compreender um determinado tema. Ao analisar e comparar as produções anteriores e posteriores ao período de aprendizagem, verificou-se que existe uma variação nos padrões de aprendizagem dos estudantes, mas alguns deles são mais comuns.

Os padrões de aprendizagem C1-D2 e C1-D3 são os mais comuns e neles foram agrupados cerca de 80% da amostra. Isto significa que os alunos já sabiam que a informação genética se localiza no núcleo das células antes do ensino formal. Depois do ensino, a maior parte dos alunos apreende o conhecimento oferecido pelo professor de maneira sincrética, tentando ancorar o novo conhecimento à rede de conhecimentos pré-existentes, o que, muitas vezes, promove uma distorção da informação. E, no caso dos alunos que atingem o nível D3, o aluno consegue reproduzir o conhecimento oferecido pelo professor. Não sabemos se estes alunos modificaram a sua compreensão de maneira definitiva ou se tenderão a memorizar apenas aquilo que já era por eles conhecido. Para entender melhor como esse conhecimento aprendido servirá para subsidiar a ancoragem de novos conhecimentos, estes alunos deveriam ser acompanhados longitudinalmente ao longo de seu processo de escolarização. Entretanto, estudos longitudinais que exploram processos de aprendizagem ao longo de muitos anos de escolarização são raros ou inexistentes na literatura e a escola tradicional não estabeleceu procedimentos de registro do

progresso e do desenvolvimento dos alunos na sua longa trajetória dentro da escola. Por exemplo, não temos acesso às idéias de alunos que não conseguem se expressar através da escrita. Se eles não sabem escrever, como podemos levantar o seu conhecimento prévio ou o que aprenderam depois da aprendizagem? O ideal, neste caso, seria realizar uma seqüência de entrevistas para avaliar se a incapacidade para escrever tem relação com a aprendizagem de conteúdos específicos. Os alunos que possuem uma melhor capacidade de escrita não necessariamente entendem o conteúdo específico melhor do que seus colegas menos hábeis. Entretanto, pouco é sabido sobre a relação existente entre compreensão de conceitos científicos e habilidade de leitura e escrita.

Outro aspecto que é pouco tratado na literatura educacional diz respeito à discussão sobre o processo de transposição didática. Ao ensinar um determinado conteúdo para crianças dos primeiros ciclos do ensino fundamental, o professor e os autores de livros didáticos distorcem e simplificam a informação ou o significado de um conceito científico. Tradicionalmente, os livros didáticos assemelham-se a dicionários por meio dos quais as crianças aprendem a decorar as definições de conceitos que serão tratados em níveis de ensino mais elevados. Com a avaliação dos livros didáticos desenvolvida por especialistas do Ministério da Educação, houve um “caça aos erros nos livros” que promoveu uma boa discussão sobre as informações erradas e desatualizadas veiculadas nos livros, mas este processo não serviu para promover uma discussão bem mais relevante sobre o processo de transposição ou distorção do conhecimento quando este passa através dos diferentes universos de produção do conhecimento (acadêmico, escolar e cotidiano). Qual é o limite entre o “erro” e a “adaptação” da informação para as crianças compreenderem um determinado assunto?

Na descrição da seqüência didática utilizada nesta pesquisa, certamente muitos pesquisadores questionariam facilmente muitas das definições oferecidas aos estudantes. Evidentemente que, ao reduzir o conjunto de informações em uma seqüência didática, o professor necessariamente distorce o conhecimento. Mas isto é errado? Tradicionalmente a genética é ensinada a partir das leis de Mendel, respeitando a história da produção desse conhecimento. Entretanto, os alunos estão diariamente em contato com a dupla-hélice de DNA e com falas sobre grupos sanguíneos. Ao lembrar do que aprenderam na escola sobre a genética, as pessoas tendem a dizer ou referir um “azão e azinho” (Santos e Siedschlag, em preparação). Será que a apresentação do conteúdo na escola deve necessariamente respeitar a

história de produção daqueles conceitos? Sabemos pouco sobre como a ordem de apresentação de conteúdos modifica ou não a aprendizagem, porque poucas pesquisas educacionais trataram deste tema. Menos ainda sobre o processo de transposição do conhecimento na sala de aula, pois são pouquíssimas as pesquisas que tomam realmente o fazer do professor como objeto de estudo sistemático.

Em resumo, podemos sintetizar os achados e a contribuição desta pesquisa da seguinte maneira:

- as crianças do ensino fundamental possuem concepções semelhantes às aquelas descritas para estudantes do ensino médio;
- a totalidade das crianças sabe que o espermatozóide fecunda o óvulo, gerando um indivíduo com bilhões de células. Algumas pensam que o espermatozóide é formado por várias células ou que dentro dele existe um ser em miniatura, conservando idéias pré-formistas. Alguns alunos imaginam que dentro do espermatozóide e do óvulo existe sangue, que se mistura durante a fecundação gerando um novo ser.
- a comparação das redações produzidas pelos estudantes antes e após a aplicação da sequência didática permitiu verificar que o padrão mais comum de aprendizagem é sincrético, ou seja, as crianças tendem a distorcer as informações oferecidas pelo professor em virtude da existência de conhecimentos prévios;
- a descrição e documentação de sequências didáticas planejadas a partir de conhecimentos produzidos na literatura educacional permitem o entendimento dos processos de transposição didática e a relação deste com a aprendizagem dos estudantes.

RESUMO

A recente explosão do conhecimento da genética molecular e o avanço da indústria da biotecnologia requerem que o público compreenda muitos conceitos da genética para a tomada de decisões sobre a pertinência do uso dessas novas ferramentas. Durante os últimos 30 anos a literatura educacional produziu conceitos e teorias para lidar com estas dificuldades, mas a maioria dos professores desconhece estas produções, principalmente porque os periódicos de referência são publicados em línguas estrangeiras (principalmente em inglês). Esta pesquisa-ação pretende preencher esta lacuna e foi baseada em testes que envolveram 283 estudantes de 12 a 15 anos de idade. Nela descrevemos as concepções dos estudantes sobre a localização e transmissão da informação genética antes e após a aplicação de uma sequência didática elaborada especificamente para desenvolver estratégias metacognitivas de aprendizagem. As idéias dos estudantes foram colhidas por meio dos questionários e redações, nas quais os estudantes descrevem como imaginam ser o interior das células e dos gametas. Verificamos que as crianças do ensino fundamental possuem concepções semelhantes às aquelas descritas para estudantes do ensino médio. A comparação das redações produzidas pelos estudantes antes e após a aplicação da sequência didática permitiu verificar que o padrão mais comum de aprendizagem é sincrético, ou seja, as crianças tendem a distorcer as informações oferecidas pelo professor em virtude da existência de conhecimentos prévios. Por fim, a descrição e a documentação de sequências didáticas planejadas a partir de conhecimentos produzidos na literatura educacional permitem o entendimento dos processos de transposição didática e a relação deste com a aprendizagem dos estudantes.

Abstract

The recent knowledge explosion on the areas of genetics, molecular biology and biotechnology introduced many new concepts hard for common people to grasp in their decision-making processes. During the last 30 years or so the educational literature produced concepts and theories to cope with these difficulties but the vast majority of our elementary and highschool teachers remain unaware of them possibly because the available literature is written in foreign languages (mainly in English). The action-research here presented intends to fill this gap and was based on tests performed with 283 students aged 12 to 15. We describe their conceptions on the location and transmission of genetic information before and after the application of a didactic sequence specifically elaborated to develop metacognitive learning strategies. The students' ideas were gathered by means of questionnaires and through essays describing how they imagine the interior of cells and germ-cells. We verified that children on basic educational level have conceptions very similar to those of students of middle-level education. The paired comparison of before and after essays suggests the existence of a common, syncretic learning standard. In plain language, the results indicate that previous informal knowledge of children tends to distort the formal information transmitted by their teachers. It is clear that the description and documentation of planned didactic sequences, available from the specialized literature, provide the understanding of the didactic transposition process and its relation with the students' learning process.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BANET, E.; AYUSO, E. (2000). Teaching genetics at secondary school: A strategy for teaching about the location of inheritance information. *Science Education*, **84**(3):313-351
- BANET, E.; AYUSO, G.E. (2002). Alternativas a la enseñanza de la genética en educación secundaria. *Investigación Didáctica*, **20**(1): 133-157.
- BANET, E.; AYUSO, G.E. (2003). Teaching of biological inheritance and evolution of living beings in secondary school. *International Journal of Science Education*, **25**(3): 373-407.
- BEIGUELMAN, B. (2003). Os sistemas sangüíneos eritrocitários. Funpec Editora. Ribeirão Preto. 3. ed. 234 pp.
- BIZZO, N. (2000). Falhas no ensino de ciências. *Ciências Hoje*, **27**(159): 26-31
- CDCC-USP. Extração de DNA. São Paulo. Disponível em: http://educar.sc.usp.br/experimentoteca/biologia/8dna.extracao_al.pdf. Acesso em: 05 fev. 2007.
- CHATTOPADHYAY, A. (2005) Understanding of genetic information in higher secondary students in northeast India and the implications for genetics education. *Cell Biology Education*, **4**: 97-104.
- DAVIS, C.; NUNES, M. M. R.; NUNES, C. A. A. (2005). Metacognição e sucesso escolar: articulando teoria e prática. *Cadernos de Pesquisa*, **35**(125): 205-230.
- GRECA, I. M.; MOREIRA, M. A (2000) Mental models, conceptual models, and modeling. *International Journal of Science Education*, **32**:1-11.
- INFANTE-MALACHIAS, M. E.; SANTOS, S. (SUBMETIDO). Understanding of genetics among brazilian college students. *Ensenanza de las Ciencias*.
- KNIPPELS, M. C. P. J.; Waarlo, A. J.; Boersma, K. T. (2005). Design criteria for learning and teaching genetics. *Journal of Biological Education*, **39**(3): 108-112.
- KOGA, D. et. al. (2005). La influencia de las secuencias didácticas sobre la construcción de narraciones de los estudiantes de enseñanza básica: un ejemplo sobre el tema electricidad. *Journal of Science Education*, **2** (6): 93-96.
- LEWIS, J., WOOD-ROBISON, C. (2000). Genes, chromosomes, cell division and inheritance-do students see any relationship? *International Journal of Science Education*, **22** (2): 177-195.

- LEWIS, J. (2004). Traits, genes, particles and information: re-visiting student's understandings of genetics. *International Journal of Science Education*, **26 (2)**: 195-206.
- MARANDINO, M. (2004). Transposição ou recontextualização? Sobre a produção de saberes na educação em museus de ciências. *Revista brasileira de educação*.
- MONK, M.; OSBORNE, J. (1997). Placing the History and Philosophy of Science on the Curriculum: a model for the development of pedagogy. *Science Education*, **81**: 405-437.
- ORCAJO, T. I.; AZNAR, M. M. (2005). Solving problems in genetics II: conceptual restructuring. *International Journal of Science Education*, **27(12)**:1495-1519.
- OSBORNE, J. (2002). Science without literacy: a ship without a sail. *Cambridge Journal of Education*, **32 (2)**: 203-218.
- OSBORNE, J. et. al. (2004). Enhancing the quality of argumentation in school science. *Journal of Research in Science Teaching*, **41 (10)**: 994-1020.
- SAKA, A. et al. (2006). A cross-age study of the understanding of three genetic concepts: how do they image the gene, DNA and chromosome? *Journal of Science Education and Technology*, **15(2)**: 192-202
- SANTOS, S. (2002) Evolução biológica: ensino e aprendizagem no cotidiano de sala de aula. Editora Annablume: FAPESP, Pró-Reitoria-USP. São Paulo.
- SANTOS, S. (2005). Para geneticistas e educadores: o conhecimento cotidiano para herança biológica. Editora Annablume: FAPESP, SBG. São Paulo.
- SANTOS, S. (2006). The diversity of ideas about inherited disorders. *Public Understanding of Science*, **15 (3)**: 259-276.
- SANTOS, S.; INFANTE-MALACHIAS, M. E.; AMABIS, J. M. (2004). Estrategias metacognitivas de aprendizaje en la planificación de una secuencia didáctica sobre digestión. *Journal of Science Education*, **5 (1)**: 24-27.
- SANTOS, S.; SIEDSCHLAG, A. C. (em preparação): Syncretism of explanations in the context of genetics.
- SILVEIRA, R. M. (2003). Como os estudantes do ensino médio relacionam os conceitos de localização e organização do material genético. Dissertação de Mestrado – Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo. São Paulo. 89p.

- SOLOMON, G. E. A. et al. (1996). Like father, like son: Young children's understanding of how and why offspring resemble their parents. *Child Development*, **67**: 151-171.
- SPRINGER, K. (1999). How a naïve theory of biology is acquired. In M. Seigal e C. C. Peterson (Eds.). *Children's understanding of biology and health* (pp.45-70). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- TRIVELATO, S.L.F. (1987). O ensino de genética em uma escola de segundo grau. Dissertação de Mestrado – Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo. São Paulo. 355p.
- VENNVILLE, G.; TREAGUST, D. F. (1998). Exploring conceptual change in genetics using a multidimensional interpretative framework. *Journal of Research in Science Teaching*, **35(9)**: 1031-1055.
- VENNVILLE, G.; GRIBBLE, S. J.; DONOVAN, J. (2005). Na Exploration of Young Children's Understandings of Genetics Concepts from Ontological and Epistemological Perspectives. *Wiley Periodicals, Inc.*