

Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG
Instituto de Ciências Biológicas - ICB

**MEIOSE E GENÉTICA MENDELIANA: PROPOSTA DE UMA SEQUÊNCIA
DIDÁTICA PARTICIPATIVA E INVESTIGATIVA**

JEOVÂNIO JOSÉ DA ROCHA

BELO HORIZONTE
2019

JEOVANIO JOSÉ DA ROCHA

**MEIOSE E GENÉTICA MENDELIANA: PROPOSTA DE UMA SEQUÊNCIA
DIDÁTICA PARTICIPATIVA E INVESTIGATIVA**

Trabalho de Conclusão de Mestrado – TCM apresentado ao PROFBIO - Mestrado Profissional em Ensino de Biologia em Rede Nacional, do Instituto de Ciências Biológicas, da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ensino de Biologia.

Área de concentração: Ensino de Biologia

Orientadora: Profa. Dra. Adlane Vilas-Boas Ferreira

Coorientadora: Profa. Dra. Rafaella Cardoso Ribeiro

BELO HORIZONTE

2019

043 Rocha, Jeovanio José da.

Meiose e genética mendeliana: proposta de uma sequência didática participativa e investigativa [manuscrito] / Jeovanio José da Rocha. – 2019.

88 f. : il. ; 29,5 cm.

Orientadora: Profa. Dra. Adlane Vilas-Boas Ferreira. Coorientadora: Profa. Dra. Rafaella Cardoso Ribeiro.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Ciências Biológicas. PROFBIO - Mestrado Profissional em Ensino de Biologia.

1. Ensino - Biologia. 2. Genética. 3. Meiose. 4. Didática. I. Ferreira, Adlane Vilas-Boas. II. Ribeiro, Rafaella Cardoso. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Ciências Biológicas. IV. Título.

CDU: 372.857.01

JEOVANIO JOSÉ DA ROCHA

**MEIOSE E GENÉTICA MENDELIANA: PROPOSTA DE UMA SEQUÊNCIA
DIDÁTICA PARTICIPATIVA E INVESTIGATIVA**

Trabalho de Conclusão de Mestrado – TCM apresentado ao PROFBIO - Mestrado Profissional em Ensino de Biologia em Rede Nacional, do Instituto de Ciências Biológicas, da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ensino de Biologia.

Área de concentração: Ensino de Biologia

Prof.^a. Dr.^a. Adlane Vilas-Boas Ferreira – UFMG (Orientadora)

Prof.^a. Dr.^a. Rafaella Cardoso Ribeiro – UFMG (Coorientadora)

Prof.^a. Dr.^a. Carmen Maria de Caro Martins – COLTEC - UFMG (Banca Examinadora)

Prof.^a. Dr.^a. Letícia da Conceição Braga - Instituto Metodista Izabela Hendrix (Banca Examinadora)

Belo Horizonte, 30 de julho de 2019.

Relato do Mestrando

Instituição: Universidade Federal de Minas Gerais

Mestrando: Jeovanio José da Rocha

Título do TCM: Meiose e genética mendeliana: proposta de uma sequência didática participativa e investigativa.

Data da defesa: 30/07/2019.

PROFBIO: um desafio que valeu a pena

Ser aprovado no processo seletivo do PROFBIO 2017 foi um momento muito especial enquanto professor do ensino médio, principalmente, porque necessitava de um aperfeiçoamento, já que tinha concluído a minha graduação em Ciências Biológicas há mais de 16 anos. A princípio cogitei não fazer esse mestrado, pois estava com vários desafios e problemas familiares, além de uma carga horária de trabalho semanal extensiva. Apesar das dificuldades resolvi iniciar este mestrado, que para a minha surpresa, passou a se tornar muito mais que um curso, passou a fazer parte de uma agradável convivência e troca de experiência com professores, colegas e amigos.

Assim, tive momentos alegres e outros nem tanto, mas que foram fundamentais e marcantes para continuar neste mestrado. Para esclarecer um pouco, gostaria de ressaltar dois grandes desafios dentro da minha experiência no PROFBIO. O primeiro momento foi na elaboração do trabalho do tema 1, no qual optei por fazer uma sala temática sobre o desenvolvimento embrionário humano. Foi muito interessante, porque, a partir deste trabalho, iniciei um ciclo de aulas com metodologias ativas e investigativas e passei a atuar de forma diferente nas escolas. Com isso, percebi o entusiasmo nos alunos em aprender, ficaram mais comprometidos e interessados nas aulas.

Outro momento especial, foi na qualificação do tema 3, dia 28 de janeiro de 2019. Nesse dia de avaliação tive que superar as dificuldades físicas e emocionais que estava vivendo, devido à tragédia envolvendo a barragem da Vale do Rio Doce no dia 25. Nessa qualificação, em específico, tive que sair de Brumadinho para ir a Belo Horizonte fazer a prova em rota alternativa, uma vez que as vias de acessos tradicionais de entrada e saída da cidade estavam interditadas. A princípio pensei que não conseguiria nem sequer chegar a Belo Horizonte, além disso me preocupava em não ter concentração suficiente para fazer uma

avaliação, depois de vários dias de desespero e caos que vivenciava. No entanto, à medida que ia me aproximando de Belo Horizonte e vendo que aquilo não se resumia apenas aos problemas de Brumadinho, percebi que era necessário me reinventar, superar e ver tudo de forma diferente. Essa qualificação não avaliou somente os meus conhecimentos específicos do tema 3, ela foi somatória na minha capacidade de resiliência, de melhorar e de tirar aprendizagem em tudo. A partir daí passei a ver os meus alunos com um outro olhar, muito mais humano e fraterno.

Por fim, ficou uma grande aprendizagem a partir deste mestrado, superar as dificuldades existentes dentro das salas de aula e, também as dificuldades pessoais, que as vezes são inevitáveis, mas, que devemos passar para continuar reinventando a nossa vida pessoal e profissional.

AGRADECIMENTO À CAPES

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Dedico este trabalho,
a meus pais, irmãos, sobrinhos, as minhas filhas Júlia e
Ana Luísa e a minha esposa Rosângela, pelo incentivo, apoio e carinho!

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida e por tudo que me deu na minha vida pessoal e profissional e pelas pessoas que colocou no meu caminho para que elas me ajudassem a chegar até aqui. Obrigado, meu Deus, por tudo!

A esta Universidade, todos os seus profissionais e principalmente aos membros do PROFBIO e do Instituto de Ciências Biológicas. Em especial, às minhas orientadoras Prof.^a. Dr.^a. Adlane Vilas-Boas Ferreira e Prof.^a. Dr.^a. Rafaella Cardoso Ribeiro, pelo apoio, dedicação e paciência durante essa jornada. Muito obrigado por todos os ensinamentos que compartilharam comigo!

Às professoras Dr.^a. Carmen Maria de Caro Martins, Dr.^a. Letícia da Conceição Braga, Dr.^a. Mônica Bucciarelli Rodriguez e Dr.^a. Suellen Cristina Moreira de Sales pela atenção e disponibilidade. Vocês contribuíram muito com o meu aprendizado e crescimento profissional.

Agradeço aos colegas e amigos do PROFBIO, grandes exemplos de profissionais e de professores guerreiros.

Agradeço a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil – CAPES - Código de Financiamento 001, que proporcionou este mestrado.

A Secretaria Municipal de Educação de Brumadinho pelo apoio e incentivo em mais essa conquista na minha vida.

A direção, colegas e alunos da Escola Estadual Abelardo Duarte Passos pelo convívio e apoio durante esses anos.

Agradeço a toda minha família! Minha mãe Araci; aos meus irmãos: Marina, Deta, Vandilson (em memória), Alexandre e Taliane; aos meus sobrinhos e tios pelo carinho. A minha segunda família, sogros e todos os cunhados (cunhado é parente) em especial a minha sogra dona Ana e minha cunhada Neiviane pelo apoio e carinho.

Meu agradecimento mais que especial para os meus amores, minha esposa Rosângela, minhas filhas Júlia e Ana Luísa pelo carinho e companheirismo em todos os momentos desta caminhada. Com o apoio e carinho de vocês tudo se tornou mais fácil.

Enfim, obrigado a todos que contribuíram com a realização deste sonho! Eterna gratidão!

RESUMO

O conhecimento da genética é indispensável para que os alunos possam compreender outros campos da biologia moderna, bem como se tornarem cidadãos críticos capazes de entender os avanços que interferem na vida em sociedade, como na área médica e agropecuária, por exemplo. Dentro da genética, a meiose é considerada pelos alunos do ensino médio como um tema de difícil compreensão, o que dificulta a construção do conhecimento que a relacione com a genética básica. Além disso, este tópico é fundamental para que os educandos possam compreender diversos temas como gametogênese, reprodução, evolução entre outros. Assim, este estudo teve como objetivo contribuir para o ensino-aprendizagem em genética, por meio do desenvolvimento, aplicação e avaliação de uma sequência didática investigativa que abordasse a meiose a relacionando com a genética mendeliana. O público-alvo deste estudo foi de alunos do 3º ano de uma escola estadual de Brumadinho, MG. A sequência proposta se desenvolve em nove aulas onde são utilizados materiais de baixo custo e fácil acesso. Atividades diversas foram planejadas em torno de uma prática, previamente publicada, intitulada Meiose no Papel, que tem o manuseio de cromossomos recortados em papel como o principal elo de construção da aprendizagem entre a meiose e a genética mendeliana. A introdução ao tema teve como fio condutor a formação de gametas e a fecundação. Percebeu-se, por parte dos alunos, um grande empenho e disposição para participar das aulas. A análise dos questionários iniciais e finais indicou que um maior número de alunos passou a dar respostas corretas sobre os assuntos ligados à meiose e aos princípios da genética mendeliana. Com este trabalho foi possível criar uma sequência didática inovadora que possibilitou aos estudantes uma melhor interação, participação e trabalho em grupo, permitindo que eles fossem os protagonistas da construção do seu conhecimento. O produto deste trabalho foi, assim, a criação de um roteiro para o professor da sequência didática que inclui, também, roteiro detalhado para o aluno.

Palavras-chave: Ensino de genética; meiose; sequência didática.

ABSTRACT

Knowledge in genetics is essential so students can understand other fields of modern biology, and also to become critical citizens able to understand the advances that interfere with life in society, such as medical and agricultural issues, for example. Meiosis is considered a difficult subject to understand by high school students which may hinder construction of knowledge related to basic genetics. In addition, this topic is fundamental for students to understand various topics such as gametogenesis, reproduction, evolution and among others. Thus, this study aimed at contributing to the teaching and learning of genetics, through the development, application and evaluation of an investigative didactic sequence that addressed meiosis related to Mendelian genetics. The target audience of this study was students from the 3rd year of a state school in Brumadinho, MG. The proposed sequence is developed in nine classes and low cost and easily accessible materials are used. Various activities were planned around a previously published practice entitled Meiosis on Paper, which has the handling of paper-cut chromosomes as the main link for learning meiosis and Mendelian genetics. The introduction to the theme was guided by the formation of gametes and fertilization. It was not noticed that students had a great commitment and willingness to participate in the classes. The analysis of the initial and final questionnaires indicated that more students gave correct answers on the subjects related to meiosis and the principles of Mendelian genetics. With this work it was possible to create an innovative didactic sequence that allowed students to have a better interaction, participation and group work, allowing them to be protagonists in the construction of their knowledge. The product of this work was, thus, the creation of a manual for the teacher about the didactic sequence which also includes detailed guidelines for the student.

Keywords: genetics teaching; meiosis; didactic sequence.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxo das aulas da sequência didática.....	28
Figura 2 – Modelos mentais de cromossomos representados pelos alunos.....	32
Figura 3 – Distribuição dos tipos de representação de cromossomos elaboradas pelos estudantes	34
Figura 4 – Estudantes participando da dinâmica dos cromossomos na quadra da escola.....	36
Figura 5 – Estudantes executando a prática Meiose no papel.....	39

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Análises das respostas ao questionário.....	30
Quadro 2 – Sumário das respostas dos grupos de estudantes para o exercício sobre meiose e transferência de material genético.....	35
Quadro 3 – Análises das respostas ao questionário final.....	46

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

CBC – Conteúdo Básico Comum

COEP – Comitê de Ética em Pesquisa

DNA – Ácido desoxirribonucleico

EF – Ensino Fundamental

EM – Ensino Médio

FNDE – Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação

MEC – Ministério da Educação

MG – Minas Gerais

PCNEM – Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio

PNLD – Programa Nacional do Livro Didático

PNLEM – Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio

SD – Sequência Didática

TCH – Teoria Cromossômica de Herança

UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	16
1.1 - Apresentação do problema	16
1.2 - Processo ensino-aprendizagem.....	17
1.3 - A sequência didática	19
1.4 - A genética e o ensino básico	21
1.5 – Relato pessoal sobre o ensino e aprendizagem de genética	22
2. OBJETIVOS	25
2.1 – Objetivo Geral	25
2.2 – Objetivos específicos	25
3. MATERIAIS E MÉTODOS	25
4. RESULTADOS	27
4.1 - Elaboração da sequência didática	27
4.2 - Aplicação e validação da sequência didática.....	28
4.2.1 – Primeira aula – Questionário inicial.....	28
4.2.2 - Segunda aula - modelos mentais sobre conceitos em genética	30
4.2.3 – Terceira aula - Compreensão da transferência e evolução do material genético	33
4.2.4 – Quarta aula - Dinâmica dos cromossomos.....	35
4.2.5 – Quinta, sexta e sétima aula: Prática Meiose no Papel.....	37
4.2.6 – Oitava aula: Consolidação dos conhecimentos	42
4.2.7 – Nona aula - Avaliação do questionário final.....	44
5. DISCUSSÃO	47
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	53
REFERÊNCIAS.....	54
APÊNDICE I: TERMO DE ASSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO DO MENOR (ESTUDANTES)	57
APÊNDICE II: TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (PAIS)..	59
APÊNDICE III: QUESTIONÁRIO INICIAL.....	62
APÊNDICE IV: QUESTIONÁRIO FINAL.....	63
APÊNDICE V: ROTEIRO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O PROFESSOR	64
APÊNDICE VI: ROTEIRO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ALUNO.....	78
ANEXO I: PRÁTICA MEIOSE NO PAPEL.....	81
ANEXO II: CROMOSSOMOS DA PRÁTICA MEIOSE NO PAPEL.....	83
ANEXO III: MODELO DE CARIÓTIPO HUMANO.....	84
ANEXO IV:TEXTO "GENÉTICA E AMBIENTE".....	85

1. INTRODUÇÃO

1.1 - Apresentação do problema

A genética é uma disciplina indispensável para que os alunos possam ter um bom entendimento dos outros campos da biologia, como a diversidade de espécies existentes, a formação das comunidades biológicas, a evolução dos seres vivos, dentre tantos outros presentes no nosso cotidiano. Giacóia (2006) descreve que as pessoas que compreendem os processos biológicos básicos, dentre eles o conhecimento da genética, poderão apresentar uma visão mais crítica da sociedade de uma forma geral.

O estudo da genética também é fundamental para que o aluno possa compreender diversos campos específicos da biologia como a gametogênese, reprodução, a genética médica, a hereditariedade, os melhoramentos genéticos, entre outros. Sendo assim, a compreensão desse tema se torna ponto chave para uma boa aprendizagem do aluno em biologia de maneira geral. No entanto, nem sempre este conteúdo é trabalhado no ensino médio da forma ideal, o que tem influenciado a compreensão dos estudantes em outros campos da biologia (LEAL; RÔÇAS, 2017). Neste sentido, é possível observar que boa parte do resultado da aprendizagem do aluno em sala de aula depende também da forma como os conteúdos são desenvolvidos, dos recursos existentes e das estratégias pedagógicas utilizadas (TEMP *et al.*, 2011).

O cenário da escola pública brasileira, por sua vez, é bastante limitador, pois a escassez de recursos didáticos, as salas com quantidade grande de alunos e número de aulas de biologia reduzido dificulta seu aprendizado. Na maioria das instituições de ensino não existem laboratórios e o que se pode utilizar como apoio pedagógico é apenas o recurso do livro didático, garantido pelo Programa Nacional do Livro Didático - PNLD, que já tem a sua sequência de conteúdo estabelecido pelo Conteúdo Básico Comum – CBC (XAVIER *et al.*, 2006). Com isso, o docente pode se sentir limitado e não trabalhar as particularidades e dificuldades de cada estudante. Outro problema é a sequência cronológica das aulas e a superficialidade com que os conteúdos são abordados na sala de aula, onde não há uma preocupação no estabelecimento de interconexões significativas para os alunos.

É fundamental trabalhar a genética de forma integrada e conexa, tendo como base a Teoria Cromossômica de Herança - TCH, assim o aluno compreenderá de forma significativa as bases da segregação cromossômica, interligando também a biologia celular. Só a partir da compreensão desses eventos é que os estudantes passarão a ver a herança mendeliana como uma consequência das segregações dos cromossomos (SANTOS *et al.*, 2015). Esses autores

relatam também que para superar os problemas decorrentes da aprendizagem da biologia é necessário que sejam produzidos materiais didáticos que forneçam um eixo integrador entre os diversos conteúdos que compõem o ensino desta disciplina.

De acordo com os trabalhos de Bugallo Rodríguez (1995) e de Knippels (2002), há geralmente cinco grandes dificuldades no ensino da Genética: o vocabulário e a terminologia específica; o conteúdo matemático presente nas Leis de Mendel; os processos citológicos; a natureza abstrata devido à sequência no currículo de biologia e a própria complexidade da Genética, nos níveis macro e micro.

Temp *et al.* (2011) citam que tanto estudantes universitários quanto do Ensino Médio - EM - consideram a Genética como a disciplina mais difícil da Biologia. Já Guerra (2019) descreve em seu trabalho que alunos de graduação fazem confusão com os termos básicos da meiose, têm dificuldades em entender o processo de duplicação e relacionar os termos matemáticos como multiplicação, divisão e permuta. O ensino da genética torna-se de grande importância para a formação dos estudantes do EM; ele desafia o professor a procurar novas metodologias para estabelecer conexões que facilitem o processo de ensino-aprendizagem da genética no EM.

1.2 - Processo ensino-aprendizagem

Os professores de ciências e de biologia devem se comprometer com a construção de uma visão mais ampla da biologia, ensinando termos técnicos desta área do conhecimento que ajudem na formação científica destes alunos, indiferentemente de sua série. No entanto, nem sempre isso é possível, assim como não é possível tampouco que todas as aulas sejam dinâmicas e atraentes. Aliás, a maioria das aulas são baseadas na metodologia tradicional, já que esse é o modelo de aula que se tem como referência tanto no Ensino Fundamental - EF - quanto no EM.

Nesse sentido, é importante ressaltar que a técnica mais utilizada por professores é a transmissão de conhecimento, ou seja, eles transcrevem as informações que têm sobre um assunto utilizando, na maioria das vezes, como recurso exclusivamente a lousa e a fala (referência- autores). Krasilchik (2004), por exemplo, relata que, por vários motivos, dentre eles a organização da escola, das disciplinas e do tempo distribuído para cada disciplina, os professores de Biologia utilizam o método tradicional de ensino. Essa autora também descreve que essa metodologia geralmente leva o aluno a agir de forma passiva, sem reflexão e sem associação coerente com outros conteúdos.

Atualmente a fragmentação do ensino é desestimulante, pois muitas vezes, percebe-se que os alunos não apresentam o mínimo de conhecimento para a série que estão cursando, vindo de um círculo vicioso de passar para os próximos assuntos ou até mesmo próximas séries sem as devidas correções dos conhecimentos em defasagem. Assim, esse círculo vicioso de fragmentações e desinformações continua, quer seja no ensino fundamental, quer seja no ensino médio. Giacóia (2006), em seu trabalho com alunos do EM, constatou a confusão dos educandos com relação aos termos elementares da ciência como células e gene, algo inconcebível para o EM, em termos de conhecimento da teoria celular, pois essa teoria é trabalhada desde as séries iniciais do EF.

Assim, é fundamental que o professor saiba que as suas práticas são capazes de transformar os alunos, quer seja para uma formação duradoura, quer seja para continuar com equívocos científicos. No trabalho de Guerra (2019) ficou claro que muitos licenciandos em Biologia apresentavam equívocos conceituais sobre divisão celular (meiose) e outros termos da genética; foi inferido que esses erros provavelmente eram de origem do EM destes estudantes e, que eles poderiam, mesmo após a graduação, ser repassados para os alunos do EM, quando esses acadêmicos se tornassem professores.

Para Gomes *et al.* (2008) e Paiva e Martins (2005) a forma como é feita a apresentação do conteúdo pode afastar ou não o aluno do verdadeiro conhecimento. Neste sentido, Delval (2001) afirma também que a dificuldade para entender as ciências é oriunda do fato de que muitos não compreendem a sua natureza, provavelmente, devendo isto ter alguma relação com a forma como ela foi transmitida, nem sempre a mais adequada.

Para que a Biologia seja vista por professores e alunos como uma disciplina que analisa casos concretos e que, depois, transforme esses casos em generalizações, há a necessidade de modificar os conjuntos de descrições, de conceitos e de aplicações remotas que são ensinados. Será preciso também que os alunos reconheçam que a pesquisa científica é o caminho para a melhor qualidade de vida e que eles podem interferir e influenciar esse caminho (TRIVELATO, 1987).

Indo ao encontro ao exposto acima, Xavier *et al.* (2006) relatam que o professor de Biologia nem sempre se vê preparado para escolher a melhor forma de ensino, pois geralmente segue as orientações descritas nos PCNEM ou no CBC estadual. Esses mesmos autores relatam que “as aulas de Biologia, mais especificamente genética, têm seus conteúdos orientados a partir de diretrizes dos novos PCNEM”. No entanto, os professores do EM devem estimular os alunos a serem capazes de interpretar e analisar criticamente a sociedade, que é cercada de interesses econômicos e que tem na biologia diversos apelos econômicos e sociais. Como bem

citado por Bueno (2001), a educação escolar representa uma importante ferramenta na formação científica e humana dos cidadãos.

Neste sentido, é importante saber que a educação escolar deve ser vista como uma prática cotidiana que começa com o planejamento daquilo que se pretende ensinar e, também, com a organização do tempo para desenvolver essa atividade. O planejamento da educação é um processo que envolve as práticas docentes como a formação do aluno, a elaboração do currículo escolar, além da análise pelo educador da fase anterior ao início das aulas, o durante e o depois, significando o exercício contínuo da ação-reflexão-ação. Essa forma de pensar a educação como um todo é importante para que os professores possam compreender melhor o universo do ensino e, também, entender as particularidades da aprendizagem do aluno. Tendo isso como referência é necessário fazer um planejamento das atividades visando a que elas sejam significativas, de forma que o educando possa melhorar em todos os campos do conhecimento e passe a perceber na escola um ambiente de significados (VASCONCELLOS, 2006).

Cosenza e Guerra (2011) afirmam que na aprendizagem é muito importante a interação com o ambiente de estudo, pois a partir deste ambiente é que pode haver formação de novas conexões nervosas ou novos comportamentos que delas decorrem.

É importante também que o professor de biologia tenha uma prática pedagógica que seja coerente com o ambiente escolar e que seja fundamentada a partir de uma sequência de atividades que trabalhe com objetivos definidos, levando em consideração o planejamento, a aplicação e a avaliação (ZABALA, 1998). Neste sentido, torna-se importante que os educandos consigam perceber a genética em suas atividades cotidianas, por meio de atividades pedagógicas diferenciadas que estimulem e despertem o seu interesse.

Entender o contexto da educação, da realidade do professor e do aluno é importante para compreender melhor também, a necessidade de mudança no cenário da educação atual e, assim, passar a refletir na possibilidade de elaboração de novas metodologias educacionais que possam reverter essa realidade, como por exemplo, a construção de uma sequência didática, que pode ser interativa e conectada com sua realidade.

1.3 - A sequência didática

Gomes e colaboradores (2008) destacam que dentre os vários problemas do ensino de biologia está a motivação dos alunos para aprenderem e, também dos professores para ensinar.

Neste sentido, uma Sequência Didática -SD- bem elaborada pode ser uma boa opção, pois a SD permite ao aluno fazer uma conexão dos conteúdos trabalhados.

Zabala (1998) define as SDs como um conjunto de atividades ordenadas, estruturadas e articuladas que leva à concretização de objetivos educacionais e, que apresenta um princípio e um fim com informações significativas para os alunos e o professor. Este mesmo autor destaca que na construção da SD é necessário a valorização de atividades que consideram o conhecimento prévio dos alunos, além de conteúdos que façam sentido e sejam significativos.

Carvalho (2013) destaca que a construção das SDs é feita por meio de um conjunto de aulas que aborda um determinado assunto escolar. Para isso, cada atividade deve ser bem planejada, levando o aluno a mobilizar os seus conhecimentos prévios para que, assim, chegue ao conhecimento científico.

Desta forma, vale refletir que a consolidação do ensino se faz efetiva quando apoiamos os conhecimentos prévios do estudante e, também, a atualização de estratégias de ensino familiares a eles. Assim sendo, as novas estratégias de aprendizagem precisam oferecer aos estudantes a possibilidade de gerar novos conhecimentos em sua estrutura cognitiva, para que o aprendizado se torne significativo, ou seja, que o discente consiga articular o novo com aquilo que já sabe (Meirieu, 1998). A SD deve proporcionar não só a aprendizagem de conteúdos conceituais, mas também, procedimentais e atitudinais (ZABALA, 1998).

É interessante saber que a SD deve proporcionar a organização das aulas a partir de situação do cotidiano do aluno ou que confronte o novo conhecimento com o conhecimento prévio do aluno. Zabala (1998) destaca que para elaborar e utilizar uma SD é necessário que ocorra

[...] identificação das fases de uma sequência didática, as atividades que a conformam e as relações que se estabelecem devem nos servir para compreender o valor educacional que têm as razões que as justificam e a necessidade de introduzir mudanças ou atividades novas que a melhorem.

Contudo, é importante que o professor reflita sobre sua prática pedagógica fazendo alterações quando necessárias, ou seja, reelaborando sua SD com novas atividades para aperfeiçoá-la e preocupando-se com o processo de ação, reflexão, ação, ou seja, planejar, refletir o planejamento, colocar em prática e fazer as modificações necessárias (ZABALA, 1998). Neste sentido, a SD deve incluir ações com características investigativas, tais como: utilizar situações problematizadoras; estimular uma reflexão dos estudantes; potencializar as análises qualitativas e propiciar a formulação de questões; auxiliar na elaboração de hipóteses e de testes

como uma das etapas da investigação; analisar os resultados com base nos conhecimentos disponíveis; desenvolver o trabalho acompanhado por modelos científicos e valorizar a dimensão coletiva do trabalho científico, por meio de grupos de trabalho reflexivos (GIL-PEREZ e VALDÉS-CASTRO, 1996). Para Azevedo (2010) as seguintes atividades se caracterizam como investigativas: demonstrações investigativas, questões abertas, laboratório aberto e problemas abertos. Essa mesma autora diz que o ensino por investigação deve ser entendido como uma estratégia de ensino e aprendizagem em que o aluno se torna o centro das atenções na participação, execução e resolução de situações-problema, sempre com a orientação do professor.

Tendo em vista o exposto acima e considerando que o ensino da meiose pode ser uma barreira para o aprendizado da genética é necessário que o professor procure metodologias diferentes e novas estratégias didáticas para diminuir as dificuldades encontradas pelos alunos. É essencial apresentar os conteúdos da genética de forma integrada possibilitando aos estudantes a aprendizagem desta área de forma mais significativa (BUGALLO RODRÍGUEZ, 1995; GOLDBACH *et al.*, 2009; SILVEIRA; AMABIS, 2003).

Assim, é importante também saber como ocorre o ensino da genética nas escolas do EM e, também nas universidades brasileiras, para construir uma SD mais sólida e significativa para o ensino-aprendizagem da genética como um todo, em especial da relação meiose, teoria cromossômica da herança e a genética mendeliana.

1.4 - A genética e o ensino básico

Para Paiva e Martins (2005), a dificuldade de alunos do EM em entender a genética pode estar relacionada com a complexidade do assunto e, também, com a organização dos conteúdos de biologia celular e molecular e da genética no EM, já que verifica-se uma falta de integração entre estes temas. Essas mesmas autoras também citam que os programas curriculares sobrecarregados e a falta de tempo podem prejudicar na interligação dos conteúdos e gerar prejuízos na aprendizagem dos alunos. Elas constataram que muitos alunos apresentam dificuldade no entendimento da genética e da hereditariedade, assim como, mostram-se confusos com este tema.

Estudos com alguns alunos do EM mostram que muitos não sabem explicar corretamente o que é gene, as leis de Mendel, mitose e meiose, a teoria cromossômica e herança biológica ou clonagem e transgênicos (GIACÓIA, 2006). Temp *et al.* (2011) dizem que um dos

conceitos mais difíceis de serem compreendidos pelos estudantes é a diferença entre cromossomo e gene.

Em estudo realizado em escolas públicas e privadas, com alunos de 1º e 3º ano do EM, verificou-se que 10 de 38 destes alunos afirmaram que os óvulos não apresentam cromossomos, genes ou DNA. No entanto, eles disseram que as informações hereditárias estão presentes nos gametas, contrariando assim o que já havia sido dito anteriormente (SILVEIRA; AMABIS, 2003). Ainda neste trabalho os autores relatam as explicações espontâneas dos alunos do EM sobre genética. Eles observaram que existe uma concepção predominante entre os avaliados que apenas os gametas conteriam todas as informações hereditárias. Relatam também que “puderam observar a conservação das concepções pseudocientíficas, o que pode ser causado pelo não relacionamento dos conceitos de divisão celular com os de transmissão de características hereditárias”.

Um problema no processo ensino-aprendizagem da genética é a falta de compreensão dos alunos da relação existente entre a meiose, cromossomos, genes e, também, na transmissão das características hereditárias (KLAUTAU-GUIMARÃES *et al.*, 2011; SILVEIRA; AMABIS, 2003). Um agravante é a dificuldade de perceber a relação existente entre conceitos, sendo que uma fonte deste problema é a meiose. No ensino da meiose é importante relacioná-la com: fertilização; ciclos de vida; geração de haploidia e diploidia; separação dos cromossomos; replicação do DNA; formação de pares de alelos e transmissão de características (BUGALLO RODRÍGUEZ, 1995). Os alunos não entendem os processos de divisão celular, a estrutura, a localização e a função do material genético (BELMIRO; PRÁXIS, 2017).

1.5 - Relato pessoal sobre o ensino e aprendizagem de genética

Aprender genética foi para mim um grande desafio pois quando eu estava na graduação tive apenas duas disciplinas que tratavam deste conteúdo, sendo que em uma delas aprendi mais termos básicos em genética relacionados com as leis de Mendel e resoluções de exercícios sobre estas leis, sem fazer interação com outros conhecimentos da Biologia ou sequer ter uma boa contextualização da vida ou história de Mendel. Assim, passar pela disciplina Genética I com esses conhecimentos e conceitos fragmentados, na época até fazia sentido. Não tinha referência de genética do EM e, também, não tinha outro modelo de aula. Não tenho intenção aqui de fazer críticas à professora, pois naquela ocasião ela também não tinha muitos conhecimentos e se esforçou para dar boas aulas, dentro das suas limitações e das informações que tinha naquele momento.

Concluindo a disciplina Genética I fui direto para a Genética de populações, com todos os termos e conceitos e cálculos específicos desta disciplina, novamente sem nenhuma conexão com outros campos da biologia. Assim, o conhecimento de genética e de outras disciplinas da graduação foi totalmente fragmentado; aprendi disciplinas que muitas vezes só faziam sentido enquanto estava cursando. Nessa lógica, passou a graduação e ficou o questionamento se realmente era normal sair do ensino superior com a sensação de que não estava ainda preparado para o mercado de trabalho.

Desta forma, ao chegar na escola para atuar como professor é que realmente comecei a ver o que deveria ensinar. Assim, de imediato ensinava principalmente as Leis de Mendel, pois sempre cumpria rigorosamente o que estava no CBC, sem uma preocupação se realmente o que ensinava estava fazendo sentido para o aluno. Vale ressaltar que Giacóia (2006) afirma que há uma série de dificuldades no processo de alfabetização científica da população brasileira, principalmente na construção de conhecimentos de genética por parte dos alunos, uma vez que a falta de síntese dos conceitos básicos de genética vem da forma como os professores trabalham esse conteúdo.

Fazendo um paralelo entre a minha formação acadêmica em genética, de mais de vinte anos atrás, é perceptível que a genética mendeliana historicamente é ensinada com foco, principalmente, na cronologia de Mendel. Assim, se essa metodologia de ensino ainda está presente nos *campi* universitários ela certamente continua seguido também para as escolas do EM, já que nas escolas se repetem muito os modelos pedagógicos que se vivencia nos bancos universitários.

Perceber que essa disciplina tem muito mais a contribuir para a vida acadêmica do aluno do EM só começou a fazer sentido na minha docência nos últimos anos, quando os alunos começaram, no meio das aulas de genética, a fazer perguntas pertinentes ao conteúdo, sobre a evolução ou sobre a forma como as informações são passadas de uma geração para outra. A partir de então, é que foi perceptível a dificuldade que eles tinham em associar os conteúdos da aula com tópicos aprendidos nos anos anteriores, como citologia, meiose, herança genética, embriologia etc. Assim, começaram a fazer sentido também as ideias contidas no processo de divisão celular- meiose, a fecundação e as leis de Mendel; me dei conta que tudo poderia ser conectado e que sempre trabalhei de forma fragmentada.

Levar o aluno a perceber a importância da genética e ainda relacionar com todos os demais conteúdos não é fácil, já que trabalharam de uma forma fragmentada deste o primeiro ano do EM, com os conteúdos da hereditariedade e da divisão celular, mitose e meiose, mas não com as Leis de Mendel. Com isso, quando um aluno ingressa no 3º ano do EM é que ele

começa a aprender a genética, sem nenhum retorno a meiose, ou seja, há pouca conexão. Tanto o CBC quanto a maioria dos livros não trazem essa correlação. Onde está a preocupação com o que o aluno está aprendendo de verdade? Será que realmente está fazendo sentido para a sua aprendizagem aquilo que está sendo ensinado? O que realmente o aluno precisa aprender em biologia para fazer sentido com o ensino da genética? O que o aluno está aprendendo na genética para fazer sentido na biologia?

Diante dessas inquietações e das vivências em sala de aulas, principalmente como professor deste conteúdo no EM, foi importante perceber o exposto acima para, a partir de então, começar a associar com as reais necessidades dos alunos. Realmente entender e ensinar a genética, uma disciplina que apresenta tantas particularidades e tantos termos específicos, não é fácil. Considerando o exposto acima e minhas observações de sala de aula, percebi a necessidade de elaborar uma SD que levasse em consideração a relação existente entre a meiose e a genética mendeliana, uma vez que é perceptível, que estes tópicos são grandes impedimentos da aprendizagem da genética.

Diante destes argumentos, senti que faz-se necessário promover uma aprendizagem que seja mais significativa na vida dos alunos, sendo fundamental que o professor se aproprie de reconhecer os pontos fortes e fracos dos alunos. Nesse sentido, nós docentes precisamos compreender como os alunos enxergam a genética para, a partir daí, superar os desafios desta disciplina.

Os estudos consultados mostraram que os estudantes apresentam dificuldades para saber termos da genética básica e que esses problemas afetam na aprendizagem da genética como um todo. Com isso, cabe a nós professores de biologia do ensino médio sabermos mais sobre o ensino da meiose, definindo a partir deste conteúdo novas estratégias de aprendizagem para prevenir ou reduzir erros que interferem no ensino da genética.

Assim, esse trabalho justifica-se, por apresentar uma proposta de ensino-aprendizagem pensada para ser alternativa aos modelos tradicionais e de caráter investigativo onde se tratará da meiose e sua conexão com a genética mendeliana para, especialmente, estudantes do Ensino Médio.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Contribuir para o ensino-aprendizagem em genética, por meio do desenvolvimento, implantação e avaliação de uma SD investigativa que aborde especialmente a meiose e sua relação com a genética mendeliana.

2.2 Objetivos específicos

- Elaborar uma SD investigativa sobre meiose relacionando-a com as leis de Mendel.
- Aplicar e validar a eficácia da metodologia descrita neste estudo no ensino-aprendizagem de genética em duas turmas do ensino médio.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho aqui apresentado faz parte de um projeto de pesquisa que foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa – COEP - da UFMG sob número CAAE 88856618.6.0000.5149. O termo de assentimento livre e esclarecido do menor (estudantes) e o termo de consentimento livre e esclarecido (pais) encontram-se nos apêndices I e II, respectivamente.

O público-alvo deste estudo foram alunos do 3º ano, de duas turmas de uma escola estadual de Brumadinho – MG. A escolha dessa instituição justifica-se pelo fato do pesquisador ser professor efetivo da mesma e com docência em todas as séries do ensino médio. Trata-se de uma escola na região rural do município com 312 alunos e atende os três anos do ensino médio nos turnos da manhã e da tarde. A escola não tem laboratórios de práticas de ensino ou suportes necessários para o desenvolvimento do aprendizado pedagógico como acesso à internet, sala de multimídia, biblioteca atualizada; tampouco possui recursos financeiros para trabalho de campo e visitas técnicas orientadas.

Os seguintes livros didáticos foram consultados para se elaborar a sequência didática sobre meiose e genética mendeliana que foi desenvolvida ao longo deste trabalho: *Biologia moderna*, volumes 01 e 03, Amabis e Martho (2018); *Biologia hoje*, volumes 01 e 03, Linhares e Gewandsnajder (2018) e *Bio*, volumes 01 e 03, Lopes e Rosso (2018). Pretendeu-se verificar

com esta consulta como é apresentada a relação existente entre esses dois conteúdos nos livros. Posteriormente à análise de alguns conteúdos nos livros didáticos foi realizada uma busca a outras fontes de conhecimentos como textos, artigos científicos, vídeos e dinâmicas escolares para a construção de uma sequência didática que abordasse os conteúdos de meiose e genética mendeliana de forma mais conectada para uma aprendizagem significativa dos estudantes de ensino médio.

A elaboração da SD teve o aporte de algumas referências citadas na introdução, principalmente as recomendações de Azevedo (2010); Carvalho (2013), Cosenza e Guerra (2011); Gomes *et. al.* (2008); Gil-Perez e Valdés-Castro (1996) e Zabala (1998). Ela foi formulada de modo que se pudesse trabalhar com as seguintes etapas:

- Introdução do conteúdo e avaliação dos conhecimentos prévios dos alunos;
- Apresentação dos conceitos básicos de meiose e da genética mendeliana;
- Atividade prática sistematizada para trabalhar e evidenciar os conceitos de meiose e genética mendeliana e suas conexões.
- Atividade complementar para solidificar os conhecimentos adquiridos.

Uma premissa para a elaboração da SD foi o uso materiais de baixo custo como papel A4, e de fácil acesso ao professor e/ou escola, como computador ou celular, caixinhas de som, sala de aula e um espaço externo como uma quadra ou pátio. Com o intuito de melhor avaliar a construção da SD utilizou-se múltiplas fontes para coletar os dados, tais como: a observação direta, que ocorre enquanto o fenômeno acontece e possibilita a obtenção de informações adicionais sobre o tema, segundo Yin (2015), e a aplicação de questionários com perguntas abertas sobre os assuntos em estudo. Foi aplicado um questionário antes de todas as atividades, e outro ao final da SD (Ver apêndices III e IV, respectivamente). Para melhor interpretação dos resultados, as aulas foram documentadas por meio de registros feitos pelos alunos em folhas à parte que foram recolhidas pelo professor ao término de cada aula. Como parte da observação direta, as impressões do professor foram gravadas em áudio, por meio de um celular, após cada atividade finalizada.

4. RESULTADOS

4.1 - Elaboração da sequência didática

Elaborou-se uma SD com nove aulas sobre meiose e genética mendeliana que passou por algumas alterações e culminou no produto aqui apresentado. A Figura 1 mostra um esquema com o fluxo das aulas que foi pensado para a sequência didática. Em resumo, inicialmente, aplicou-se um questionário para saber o conhecimento dos alunos sobre o tema em estudo. A segunda aula abordou o conhecimento prévio dos alunos, sendo nesta aula solicitada a elaboração de um modelo mental sobre alguns conceitos básicos de genética, a partir da escuta de um curto programa de rádio sobre o tema. Em seguida, foi proposta uma atividade para possibilitar aos alunos a compreensão da transferência do material genético através das gerações. Nessa atividade, eles foram estimulados a desenhar e comparar os cromossomos e, posteriormente, fazer uma discussão, em pequenos grupos, sobre os modelos de cromossomos existentes. A quarta aula tratou de uma atividade dinâmica para que os educandos percebessem a junção dos cromossomos no momento da fecundação e como se dá o processo de pareamento dos cromossomos. Para isso, foi solicitada a participação de 23 indivíduos do sexo masculino e 23 do sexo feminino para representar o conjunto dos cromossomos homólogos dentro de um núcleo celular. O ponto principal dessa sequência, para consolidar o entendimento da meiose e a formação de cromossomos haploides, foi uma sequência de três aulas envolvendo uma prática denominada Meiose no Papel. Este modelo foi publicado por Diego Dayvison e Adlane Vilas-Boas nos portais pontociência e Portal do Professor (<http://portaldoprofessor.mec.gov.br/fichaTecnicaAula.html?aula=51679>). Com essa prática foi possível se trabalhar as etapas da meiose, observar as variações dos cromossomos e relacionar a meiose com a primeira lei de Mendel. Ao final, pôde ser visto o que ocorre com a recombinação dos cromossomos no momento da fecundação e a formação de novos genótipos. Na oitava aula desta SD foi indicada aos alunos uma leitura do texto “Genética e ambiente” publicado na revista Ciência Hoje, em que procurou-se abordar os temas trabalhados ao longo das aulas, já que o texto traz um pouco da história do nascimento da genética e os conceitos básicos e fundamentais desta disciplina. Para finalizar a sequência, foi aplicado um questionário com quatro perguntas sobre os assuntos trabalhados nas aulas anteriores. Os roteiros desta sequência didática são apresentados nos apêndices V e VI, sendo um destinado ao professor e outro, ao aluno.

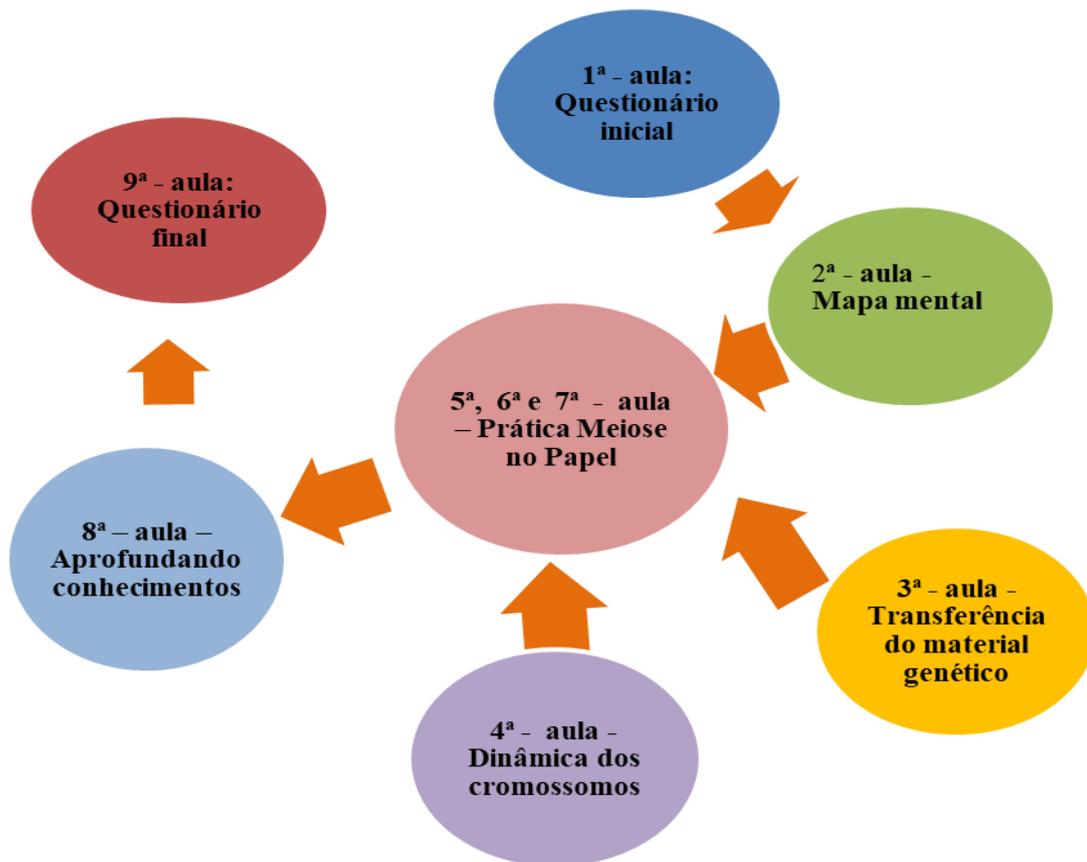


Figura 1- Fluxo das aulas da sequência didática.

4.2 - Aplicação e validação da sequência didática

A segunda parte deste trabalho propôs aplicar e avaliar a eficácia da SD desenvolvida sobre meiose e fazer uma correlação com as leis de Mendel. A SD foi aplicada em duas turmas separadamente (turma 1 e 2, totalizando 53 alunos), exceto na quarta aula quando juntou-se as turmas.

4.2.1 – Primeira aula – Questionário inicial

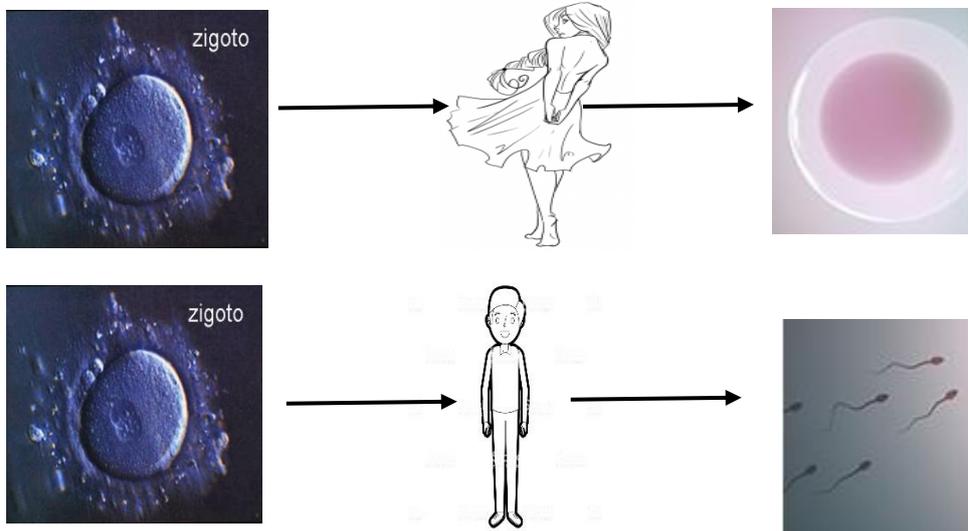
O questionário 1 encontra-se abaixo e no apêndice III. Tal atividade teve como objetivo a verificação dos conhecimentos prévios dos alunos sobre os conteúdos de meiose e genética

básica já que se tratava de turmas de 3º ano e que já teriam estudado, principalmente, o conteúdo de meiose no primeiro ano do ensino médio.

QUESTIONÁRIO INICIAL

A continuidade da vida depende dos ciclos evolutivos de cada espécie e, também, da manutenção das características genéticas conservadas de uma geração a outra.

Observe o esquema abaixo que se refere ao ciclo do desenvolvimento humano, e em seguida responda as perguntas 1 e 2.



Imagens retiradas de: <https://www.omeubebe.com/engravidar/quero-ter-filho/fecundacao-ovulo>, <https://www.istockphoto.com/br/vetor/desenho-animado-homem-personagem-masculino-em-p%C3%A9-pessoa-gm889302500-246568834> e <http://www.comoaprenderdesenhar.com.br/como-desenhar-uma-mulher-muito-facil/>

1 – No esquema acima onde ocorre o processo de divisão celular meiótica? Escreva a palavra **meiose**, nas **setas do esquema acima**.

2 – Sabendo-se que a espécie humana apresenta 46 cromossomos, escreva **acima de cada desenho** do esquema, a **quantidade de cromossomos** que você julga que existe nas células das diferentes fases do desenvolvimento aí representadas.

No Quadro 1 é mostrada a quantificação das respostas obtidas para as duas questões do questionário acima. Considerou-se como padrões para correção, as seguintes respostas:

- Pergunta 1 - **Correta**, quando o aluno colocou a palavra *meiose* nas setas entre a mulher e o ovócito e entre o homem e o espermatozoide; **incompleta**, quando colocou a palavra *meiose* corretamente em apenas uma das setas; **errada**, quando não colocou em nenhuma das setas referidas. (Ver Quadro 1)
- Pergunta 2 – **Correta**, quando representou os 46 cromossomos sobre as imagens dos zigotos, dos adultos e 23 cromossomos sobre as imagens do ovócito e dos espermatozoide s; **incompleta**, quando errou pelo menos uma das solicitações e, **errada**, quando não representou corretamente a quantidade de cromossomos em nenhuma das imagens.

Quadro 1 – Análises das respostas ao questionário 1.

Questão	Corretas	Incompletas – apenas na formação de óvulo	Incompletas – apenas na formação do espermatozoide	Erradas
1	24	6	6	17
2	9	15	15	14

A partir deste questionário verificou-se que, de um total de 53 participantes, 32% dos alunos erraram a pergunta 1. No entanto o número de alunos que a responderam corretamente foi maior (45%). Além disso, doze alunos erraram parcialmente essa pergunta colocando a palavra *meiose* corretamente sobre apenas um dos processos de formação de gametas. Já na pergunta 2, onde foi solicitado para os alunos colocarem o número de cromossomos sobre cada imagem, o número de acertos foi menor sendo que 26% erraram a resposta. Chamou atenção também, o número elevado de respostas incompletas (57%).

4.2.2 - Segunda aula - Modelos mentais sobre conceitos em genética

Após a aplicação do primeiro questionário, seguiu-se para a atividade de elaboração de um modelo mental sobre alguns conceitos básicos em genética.

Para essa aula foi utilizado o áudio Receita de gente do programa de rádio “Na Onda da Vida”, disponível em <https://www.ufmg.br/ciencianoar/conteudo/receita-de-gente/>. Este programa fala sobre a organização do material genético em cromossomos usando uma metáfora de uma receita para produzir uma pessoa. Relata também sobre a ploidia dos gametas masculinos e feminino. Desta forma, os estudantes poderiam aprender ou lembrar conceitos básicos por meio da audição do áudio. Os alunos foram instruídos a ouvir o áudio por três vezes e após esta etapa puderam escrever ou desenhar alguns conceitos chaves. Assim, esperava-se que os alunos expressassem os seus conhecimentos prévios sobre conceitos básicos de biologia celular e da genética mendeliana, como: DNA e cromossomos presentes no áudio.

A partir dessa aula foi possível realizar uma atividade introdutória ao estudo da genética mendeliana e ao mesmo tempo ter elementos para fazer uma breve avaliação do conhecimento prévio que cada aluno tem sobre esse assunto. Nesta atividade houve representações simples e outras muito bem elaboradas pelos alunos. Alguns exemplos dessas representações estão mostrados nas figuras de 2 A a 2 E.

Imagens como as mostradas na figura 2 B e 2 C trouxeram uma ideia da compreensão que os alunos puderam ter ao ouvir as informações do áudio. Nas duas imagens abaixo ficou evidente que estes alunos entenderam alguns conceitos básicos da genética nos mapas mentais, mesmo que tenham expressado no desenho aspectos diferentes. Pode-se observar que o aluno M representou o cromossomo simples (não duplicado), já o aluno Z representou duplicado (em formato de X) e relaciona cromossomo com a molécula de DNA. Apesar do aluno M ter representado os cromossomos em número correto em uma das células, não demonstrou entendimento correto do processo já que as duas células que deram origem a esta célula de 46 cromossomos estão representadas com 2 cromossomos e com indicação XX e XY.

Vários alunos tiveram a compreensão dessa atividade, representando todos os elementos mencionados no áudio (Figura 2 C).

Houve alguns alunos que representaram uma molécula de DNA com diversos pontinhos; o que chamou atenção nestes desenhos é que havia 46 ou 23 pontinhos (um caso que representou os gametas), ou seja, um grande indicativo que eles pensavam que a molécula de DNA contém os 46 cromossomos (Figura 2 D).

Alguns alunos representaram os cromossomos relacionando com a estrutura do DNA enquanto outros representaram apenas com um círculo. No entanto neste último caso o aluno representou o número correto da espécie humana (Figura 2 E).

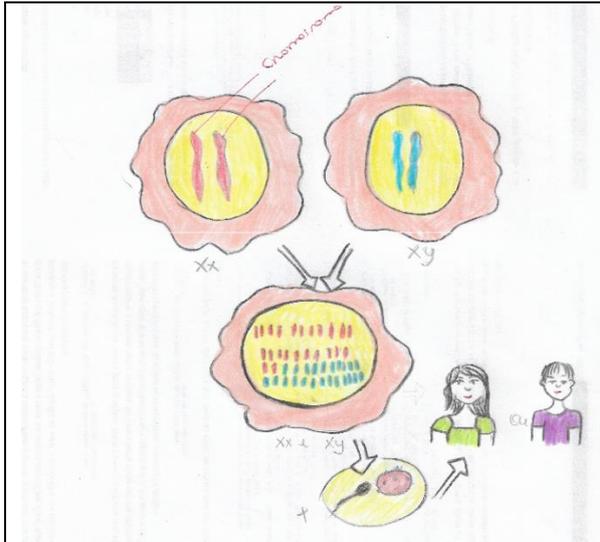


Figura 2 A - Representação mental do aluno M

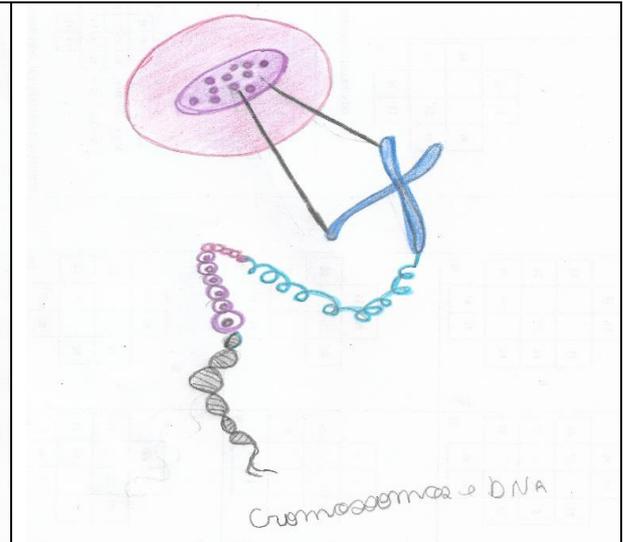


Figura 2 B - Representação mental do aluno Z

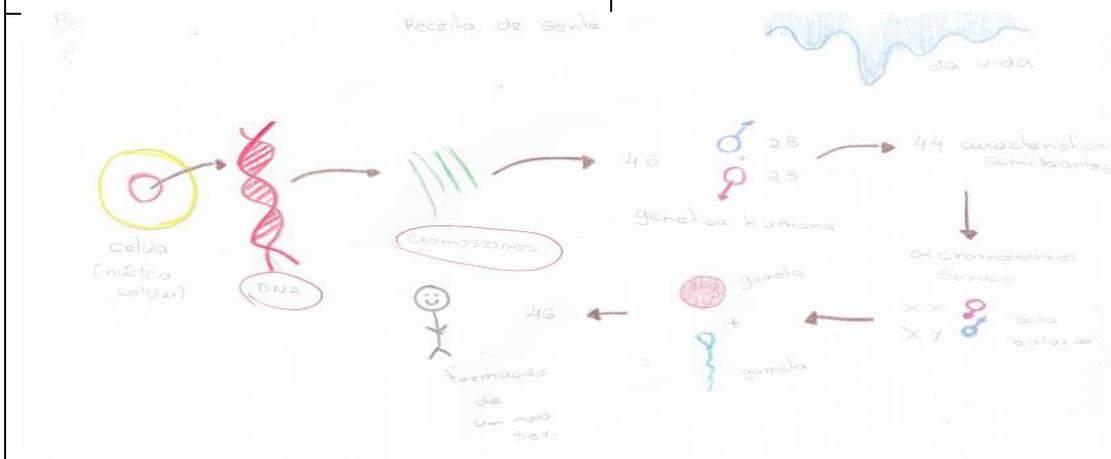


Figura 2 C - Representação mental do aluno M2

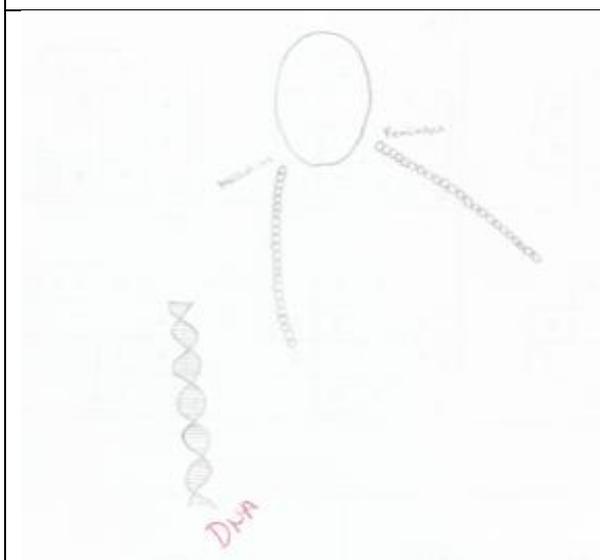


Figura 2 D - Representação mental do aluno K.

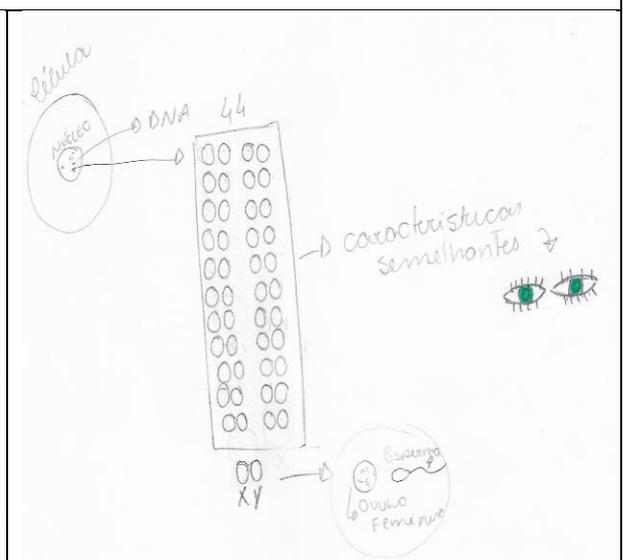


Figura 2 E - Representação mental do aluno E.

Figura 2 - Modelos mentais de cromossomos representados pelos alunos

Após a elaboração do modelo mental, os estudantes foram convidados a compartilhar suas respostas com os colegas, para que assim pudessem trocar o conhecimento adquirido na aula. Apesar de não ter sido feito um registro pelos alunos desta parte foi observado que eles se beneficiaram dessa troca de informações solidificando o seu conhecimento. Os exercícios foram recolhidos depois desse momento para serem avaliados pelo professor.

A partir da análise dos modelos mentais produzidos e da fala espontânea dos alunos percebeu-se que a maioria entendeu e conseguiu demonstrar, principalmente, através de desenhos, o conteúdo do áudio. O DNA foi representado em 50% dos desenhos avaliados já a representação dos cromossomos estava presente em 75% dos mesmos. Apenas três dos 53 estudantes não fizeram essa atividade.

4.2.3 – Terceira aula - Compreensão da transferência e evolução do material genético

Para essa aula utilizou-se os modelos dos cromossomos da prática “Meiose no Papel: Cromossomos e Segregação Independente” e, também, um modelo de cariótipo humano retirado do livro didático do ensino médio de autoria de Linhares e Gewandsnajder (2018) (Ver anexo II e III, respectivamente). Com essa atividade esperava-se explorar os seguintes temas em genética: formação de gametas; transferência de DNA através das gerações; cromossomos; genes e recombinação.

Solicitou-se aos alunos que desenhassem um modelo de cromossomo em um prazo de 10 minutos. Após finalizarem os desenhos, os estudantes receberam modelos de cromossomos reproduzidos pelo professor e para comparar a sua representação com a do professor. O modelo de cromossomo usado foi o mesmo da prática Meiose no Papel, sendo que foi entregue a eles uma folha com o cromossomo duplicado impresso, com instruções de que fossem feitos recortes e colagens e outros processos artísticos. A ideia de apresentar o modelo que seria usado em aulas subsequentes foi de familiarizar o aluno com o material e apresentar um modelo clássico de cromossomo.

A Figura 3 mostra um gráfico de distribuição dos tipos de representação apresentadas nos desenhos. A maior parte dos estudantes desenhou cromossomos, sem auxílio de material de pesquisa como livros ou internet. Todas essas representações mostravam cromossomos em forma de X (61%). Já 11 alunos (23%) fizeram a representação através de desenhos de células, sendo que muitos escreveram que os cromossomos estavam ali dentro. Dois dos 48 alunos representaram o cromossomo como se fosse o modelo de dupla hélice do DNA, três

representaram em formato de espermatozoides, e um, em formato de estrela. Dois exercícios foram entregues sem a representação.

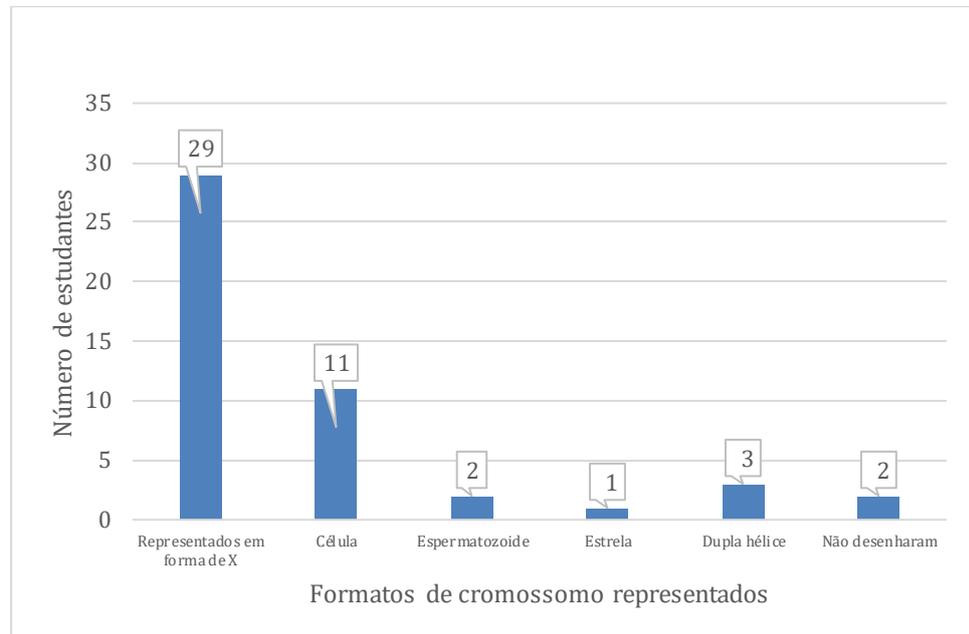


Figura 3 – Distribuição dos tipos de representação de cromossomos elaboradas pelos estudantes.

Esta atividade foi realizada em grupos de três ou cinco alunos sem consultas a livros ou internet. Os alunos deveriam apenas compartilhar o que tinham feito, sem discutir criticamente seus erros ou acertos. O professor não solicitou o registro por escrito dessa atividade e sim que debatesses entre eles e observassem o registro dos colegas.

Posteriormente à elaboração do desenho e comparação dos cromossomos, os alunos discutiram as atividades realizadas e responderam às questões do exercício sobre meiose, transferência ou transmissão de material genético ao longo das gerações e da genética mendeliana. As perguntas encontram-se à esquerda no Quadro 2, onde estão também sumarizadas as respostas dos grupos.

Nesta atividade as perguntas 2 e 3 chamaram a atenção pois houve muitos erros entre os grupos. Cinco dos 12 grupos não tinham claro que é apenas na meiose que ocorre a separação dos cromossomos. Já nas repostas à pergunta 3 houve dois grupos que não responderam e três que erraram, colocando apenas que é porque o material genético mudou, sem entrar em detalhes que tipo de mudança achavam que poderia ocorrer.

Quadro 2 – Sumário das respostas dos grupos de estudantes para o exercício sobre meiose e transferência de material genético.

Perguntas	Respostas dos grupos
1 - Como ocorre a transferência de material genético de pais para filhos?	Todos os grupos responderam que a transferência de material genético ocorre no momento da fecundação.
2 - Quando os pares de cromossomos paternos e maternos se separam?	Sete grupos descreveram que a separação ocorre na divisão dos cromossomos na meiose, três grupos responderam que ocorre na meiose e mitose, e dois grupos que era no momento da fecundação.
3 - Como é possível filhos nascerem com características genéticas diferentes dos pais?	Sete grupos responderam que é através das alterações que ocorrem nos cromossomos, três grupos responderam que o material genético mudou e dois grupos não responderam.

Ao final das perguntas tinha uma instrução para os alunos deixarem registradas dúvidas ou curiosidades que tinham sobre o assunto. Apenas um grupo dos 12 descreveu na atividade que tinha interesse em saber quais são as mudanças que ocorrem na célula para a transferência de material genético. No entanto a intenção desta parte do trabalho era ver as possíveis dúvidas ou curiosidade dos alunos sobre esse assunto, porém, não houve tempo suficiente na aula para auxílio por parte do professor para levantamento das dúvidas. Outra percepção fundamental sobre essa atividade foi a falta de curiosidade por parte de quase todos os grupos, se detendo mais às respostas das perguntas que ao levantamento de hipóteses ou curiosidades.

É importante destacar que o professor não retomou a essa atividade na aula subsequente. No entanto, deveria haver a previsão de mais tempo para trabalhar e estimular os alunos a levantarem curiosidades sobre o assunto e, também estimular o levantamento de hipótese. Uma forma possível teria sido uma roda de conversa.

4.2.4 – Quarta aula - Dinâmica dos cromossomos

Esta atividade foi pensada para ser uma preparação para a prática Meiose no Papel, no sentido de levar os alunos se familiarizar com os termos cromossomos homólogos e alelos, principalmente. Inicialmente, ainda dentro da sala de aula, os alunos foram instruídos sobre como seria a prática e qual o objetivo da mesma. Foram divididos em dois grupos do sexo

masculino e feminino que receberam 23 cromossomos cada, representando os gametas dos dois sexos e foram instruídos a escreverem, livremente, as letras (A) ou (a) para representar os alelos em cada cromossomo. Após esses comandos os educandos foram conduzidos à quadra da escola, indo cada grupo para um lado, para constituírem de forma fictícia o material genético da célula gamética. Devido ao número de indivíduos necessários para representar todos os cromossomos humanos, foi preciso reunir as duas turmas. Foram utilizados modelos de cromossomos reproduzidos em papel de três tamanhos e cores diferentes (Ver anexo II).

A ideia dessa atividade foi possibilitar o entendimento da dinâmica dos cromossomos dentro do núcleo celular e da forma como eles são agrupados/organizados no momento da fecundação, a partir da representação de uma nova célula humana com 46 cromossomos a partir de duas células com 23 cromossomos. Assim, foi comandado aos alunos que se dirigissem ao colega que possuía cromossomo semelhante, ou seja, com cor, tamanho e alelos que representavam a mesma característica e formaram o par no centro da quadra (Figura 4).



Figura 4 – Estudantes participando da dinâmica dos cromossomos na quadra da escola

O professor pesquisador observou que os estudantes mostravam motivação e interesse em participar de todas as etapas. Surgiram dúvidas apenas no momento da formação dos pares de cromossomos homólogos na quadra, principalmente, na junção das letras que representavam os alelos. Nesta atividade, percebeu-se que os alunos entenderam a formação dos pares de homólogos; eles conseguiram organizar-se pelas cores, pelo tamanho, porém, muitos não entenderam que os cromossomos homólogos poderiam ter pares de letras maiúsculas e minúsculas. Foi um momento importante para o professor pesquisador explicar, ainda na quadra, sobre como acontece a fecundação, a formação do material genético, os possíveis genótipos e os tipos de alelos.

Os alunos que não participaram da formação dos pares de homólogos foram colaboradores na organização geral do núcleo da célula e na conferência e anotação do genótipo dessa célula que se formou, observando também: os cromossomos homólogos; os alelos dominantes e recessivos; homocigoto dominante; homocigoto recessivo e heterocigoto. Foram responsáveis ainda por compartilhar com os demais colegas as informações observadas nesta prática tanto na quadra quanto ao retornarem para as suas salas de aula, através de pequenos grupos.

Na construção dessa aula foi cometido um erro metodológico, que foi observado na escrita deste trabalho. No momento de preparação dos gametas cada estudante recebeu um modelo de cromossomo, onde deveriam escrever a letra que representasse os alelos. Foi instruído que usassem apenas a letra (A), com a intenção de que isso facilitasse relacionar com os exemplos mais usados no ensino de genética, A e a. No entanto, esta sugestão implicou em que todos os cromossomos tivessem a mesma letra o que não está de acordo com o conceito que cada cromossomo apresenta diferentes loci e em cada locus há diferentes genes, onde são representadas letras diferentes nos diversos pares de homólogos. No roteiro do professor isso foi corrigido sendo sugerido que sejam entregues os cromossomos com as 23 letras representando diferentes loci nos cromossomos homólogos.

4.2.5 – Quinta, sexta e sétima aula: Prática Meiose no Papel

Depois das quatro primeiras aulas verificou-se que a maioria dos alunos já tinha ideias consolidadas do processo básico da fecundação, porém, não haviam sido apresentados à teoria cromossômica da herança ou leis de Mendel. Obviamente eles não deveriam conseguir fazer a conexão entre esse processo, a meiose e esses temas. É neste sentido que planejou-se usar a prática “Meiose no papel” (Anexo I) que mostra essa conexão da meiose e como ela se relaciona com a lei da segregação independente, é uma prática simples, feita em sala de aula com materiais de baixo custo.

Embora esta prática possa ser realizada em apenas uma hora, dependendo do tipo de turma, ela foi conduzida nesta sequência didática, durante três aulas de 50 minutos. A turma foi dividida em 12 grupos de três ou cinco alunos, com o auxílio do professor pesquisador. Toda a atividade foi realizada com a supervisão do professor pesquisador que circulou em todos os grupos durante a execução das atividades e pôde observar o desenvolvimento das atividades e auxiliar os alunos nos momentos de dificuldades.

O roteiro da prática leva o aluno a pensar as suas ações e traz perguntas em quase todos os itens para que possa refletir sobre a próxima ação. Os cromossomos dos envelopes são entregues já cortados e dobrados pelo professor para representar um cromossomo simples. Cabe ao aluno prosseguir com a duplicação do cromossomo e as fases consecutivas da meiose até a formação do gameta com cromossomos recombinados (Figura 5).

Com a intenção de favorecer a melhor compreensão e discussão desses resultados e, também, entendimentos desta prática, as respostas dos alunos e as observações constatadas pelo professor foram agrupadas e descritas após cada item trabalhado em sala de aula. A partir do roteiro de aula prática, observou-se as seguintes respostas:

Questão 2. Todos os grupos fizeram corretamente.

Questão 3. Todos os grupos acertaram, porém, necessitaram dos esclarecimentos do professor sobre o formato dos cromossomos, pois alguns grupos os representaram em forma de X.

Questão 4. Neste item todos os grupos acertaram, mas necessitaram da intervenção do professor com relação a existência nessa fase da meiose de cromossomos simples ou duplicados.

Questão 5. Neste item todos os grupos acertaram, porém, muitos tiveram dificuldades sobre o nome dado as partes duplicadas, ou seja, as cromátides.

Questão 6. Todos os grupos acertaram.

Questão 7. Todos os grupos acertaram.

Resposta do tópico. Neste item todos os grupos acertaram, todavia, alguns grupos não entendiam a representação dos alelos, já que se tratava de uma duplicação.

Questão 8. Neste item todos os grupos acertaram.

Questão 9. Todos os grupos acertaram.

Questão 10. Neste item todos os grupos acertaram, no entanto, alguns grupos não sabiam o conceito de crossing-over.

Questão 11. Todos os grupos acertaram, porém, tiveram dúvidas em como diferenciar as cromátides irmãs das cromátides não-irmãs.

Questão 12. Todos os grupos responderam corretamente.

Questão 13. Todos os grupos acertaram, todavia, foi necessária a ajuda do professor.

Questão 14. Todos os grupos responderam corretamente.

Questão 15. Todos os grupos responderam corretamente.

Questão 16. Todos os grupos responderam corretamente.

Questão 17. Todos os grupos responderam corretamente.

Questão 18. Todos os grupos acertaram após a interferência do professor.

Na parte II desta prática (fertilização), as respostas foram:

Questão 1. Todos realizaram corretamente o comando.

Questão 2. Todos responderam corretamente.

Cinco questões finais. Os estudantes conseguiram responder quatro das cinco questões sem o auxílio do professor. Apenas na última questão, que pergunta sobre a relação da segregação dos cromossomos com a segregação independente foi solicitada a ajuda do professor, pois os educandos não entenderam a questão.



Figura 5 – Estudantes executando a prática Meiose no papel.

Verificou-se, que na realização de vários itens dessa prática foi necessária a intervenção do professor. Alguns erros mais comuns e possíveis intervenções que poderão ser necessárias no momento de aplicação desta atividade são:

A – “Faça a duplicação (ou replicação) do DNA abrindo os cromossomos. Como é chamada cada parte que aparece duplicada agora?”

Comentários. Esta etapa proporcionou entendimento aos alunos sobre o processo inicial da duplicação dos cromossomos, ao pedir para eles abrirem os cromossomos, porém muitos tiveram dificuldades para saber que os nomes dos braços dos cromossomos são chamados de cromátides. Este termo é muito específico da meiose, que havia sido trabalhada no primeiro ano do EM mas muitos não se recordavam do nome dado a esta estrutura. O termo cromátide não havia sido mencionado nas atividades desta SD. Vale a pena frisar que o professor ao aplicar esta prática poderá estimular os educandos a buscarem informações sobre estes e outros termos básicos da meiose/genética, propiciando o hábito dos alunos pesquisarem o que desconhecem, o que é de certa forma, pouco estimulado no EM.

B - “Evidencie a duplicação dos genes escrevendo seus nomes nas cromátides que acabaram de se formar”.

Comentários. Aqui foi necessário ajudá-los, pois alguns grupos não entendiam que aqui letras não poderiam ser diferentes, já que se tratava de uma duplicação.

É necessário destacar também conjuntamente os itens 10 (Como se dá o *crossing-over*), 11 (Identifique os cromossomos homólogos, diferencie cromátides irmãs e não irmãs), 13 (discuta sobre todo o processo que ocorreu) e 18 (por que é inviável um gameta $2n$?).

Comentários. Nesses itens percebeu-se a importância da orientação por parte do professor, já que foram constatados que nem todos os grupos tinham claro conceitos de: *crossing-over*; diferenciação entre cromátides irmãs das cromátides não-irmãs e, tampouco, o entendimento da variabilidade genética nos organismos. Igualmente, nem todos os grupos conseguiram responder corretamente por que é inviável que um gameta apresente um número $2n$ de cromossomos.

Dentre as questões desta prática que os alunos tiveram mais facilidades duas foram marcantes. Uma delas é o item 12: “Agora que os cromossomos estão bem perto um dos outro os genes podem ser trocados. Faça isso cortando um pedaço que contenha letra em cada cromossomo e cole (no lugar onde estava o gene equivalente no outro cromossomo homólogo), utilizando fita adesiva. A troca tem que ser recíproca!”

Comentários. Em sala de aula algumas frases são marcantes quando percebemos que o aluno entendeu algo, e a expressão marcante nesta atividade foi: “*Então, literalmente, no crossing-over os cromossomos trocam pedaços*”. Essa expressão foi muito falada entre os grupos quando estavam realizando esta atividade mostrando que o uso dos cromossomos de papel posicionados em cima do outro facilitou o entendimento da troca de material genético. A prática permitiu que os alunos observassem os cromossomos de forma deferente dos livros, já que nestes a representação dos cromossomos é lado a lado. O modelo tridimensional mesmo sendo simples como este desta prática facilita o entendimento do processo celular de forma mais realista.

O outro item de interesse foi: “Agora, você tem duas células que precisam se dividir de novo para terminar a formação de gametas haploides. As duas cromátides ainda estão ligadas pelo centrômero. Corte os cromossomos ao meio e proceda à divisão usando a moeda novamente como no item anterior.”

Comentários. O que mais chamou a atenção neste item foram os relatos e as conclusões dos grupos sobre a percepção da formação dos gametas haploides. Vale destacar a surpresa deles ao cortarem e destinarem os cromossomos de forma aleatória. Percepção que ficou bem visível quando eles tinham de cortar os cromossomos e gerar outros dois novos.

Na parte II da prática - fertilização –pedia-se: “Sorteie um dos 4 gametas formados para participar do cruzamento. Escolha um gameta formado por outro grupo (de sexo oposto) para que ocorra a fertilização. Todos estudantes fizeram o sorteio e a fertilização corretamente, sendo que muitos alunos teceram comentários sobre o número de possibilidades concretas de novos gametas existentes ao final da meiose. Houve nesse momento uma intervenção do professor para conduzir o pensamento dos grupos sobre a variabilidade genética. Com a condução foi possível, neste momento, mostrar para os alunos quantas possibilidades de recombinação dos cromossomos poderia ocorrer no momento da escolha dos gametas para a fecundação; também foi possível levar o aluno a perceber a conexão entre os eventos da meiose que realizaram e as possibilidades genéticas trabalhadas nas leis de Mendel.

Sobre as perguntas: Qual o genótipo do indivíduo que acabou de se formar? É diferente do genótipo dos pais?, todos conseguiram responder corretamente. Nestas perguntas também foi solicitado aos educandos compararem os genótipos que formaram com os genótipos do início da prática.

No final desta prática é sugerido que os educandos respondam cinco perguntas. Os participantes avaliados conseguiram respondê-las de forma satisfatória, exceto a pergunta 5 (qual a relação

de segregação dos cromossomos com a segregação independente proposta por Mendel?) que necessitou da ajuda do professor para o melhor entendimento.

Essa atividade propiciou aos educandos, após a familiarização com a estrutura e organização dos componentes dos cromossomos, compreender o processo de divisão da célula, meiose, suas etapas e os principais eventos que ocorrem com os cromossomos no momento da divisão meiótica. Proporcionou também, entenderem como a meiose está relacionada com a transmissão das características genéticas e como ocorre a modificação deste material no momento da formação de novos cromossomos. Assim, com a prática meiose no papel, foi possível manipular e usar os cromossomos recortados em papel para representar os passos a passos detalhados da divisão celular meiose e fazer uma conexão com a teoria cromossômica de herança ou leis de Mendel.

Apesar de não estar na metodologia a solicitação de registros das reflexões dos alunos sobre essa atividade prática, segue abaixo um depoimento de uma educanda entregue espontaneamente ao final desta atividade, que reforça a importância de atividades como essa em sala de aula.

‘... O professor nos pediu para seguir as instruções e responder todas as questões da atividade. Para realizar a atividade tivemos que nos comunicar com nosso grupo e também com o professor. Em minha opinião a atividade em si não estava tão difícil, mas o que dificultou foi a má interpretação da linguagem da Biologia palavras como prófase I entre outras que não são do nosso uso cotidiano me confundiu na hora de dar as respostas mas no mais a atividade foi bem tranquila e me ajudou a compreender de maneira mais fácil a matéria.

Estudar dessa maneira fez com que tenha mais sentido para mim como meu corpo foi formado e também me esclareceu algumas dúvidas por exemplo. Por que me pareço mais com minha mãe do que com meu pai? Por que pessoas negras tem filhos brancos? E através dessa matéria passei a compreender que isso tudo é fruto da genética de nossos antepassados.’

R. S., 3º 2.

4.2.6 – Oitava aula: Consolidação dos conhecimentos

Para essa etapa da sequência de aulas utilizou-se o texto “Genética e ambiente” publicado na revista Ciência Hoje de junho de 2005 (ver anexo IV). O texto escolhido aborda

o nascimento da genética e os seus conceitos básicos de meiose, descoberta dos cromossomos e genética mendeliana.

Inicialmente os estudantes leram individualmente o texto e, em seguida, formaram grupos de três ou cinco membros, para discussão e elaboração de respostas referentes às perguntas sobre o texto.

Todas as perguntas foram respondidas de forma satisfatória e sem necessidade de interferência do professor, como se vê nas respostas transcritas de dois grupos representativos abaixo:

1 - Por meio da leitura do texto como foi possível perceber a comprovação da teoria cromossômica?

Grupo 1 – Através de estudos que comprovaram as existências da genética, como os cromossomos, como a primeira lei de Mendel que ele fez experimentos com ervilhas comprovando suas suspeitas sobre os cromossomos.

Grupo 2 – O texto descreve que foi através dos experimentos de Mendel, feitos com ervilhas e, também dos relatos sobre pesquisas realizadas com insetos em associação de características marcantes como o sexo, presentes em um determinado cromossomo. Tudo isso foi um aliado importante na aceitação da teoria cromossômica de herança.

2 - Afinal, o ambiente interfere na determinação da herança sexual das espécies?

Grupo 1 – Sim, vários pesquisadores colecionavam evidências da influência ambiental na geração de fêmeas e machos em diversos organismos. Hoje, sabe-se que em diversas espécies de animais, como tartarugas, o sexo é determinado por fatores ambientais.

Grupo 2 – Sim, mas não em todas as espécies, por exemplos os seres humanos. O ambiente onde é feito e gerado o feto não interfere em sua formação, mas sim em alguns casos como os das tartarugas, onde o ambiente afeta diretamente a sexualidade do feto, em ambientes quentes, onde bate sol, é feminino, e em ambiente frio é masculino.

3 - Como você descreve o conceito de meiose?

Grupo 1 – Divisão celular que gera células com apenas um conjunto de cromossomos, a partir de células que têm dois conjuntos cromossômicos, como as que constituem a maioria dos animais.

Grupo 2 – Meiose é divisão celular que gera células com apenas um conjunto de cromossomos, a partir de células que têm dois conjuntos cromossômicos.

4 - Qual é a relação existente entre a meiose e a herança genética dos indivíduos?

Grupo 1 – É que através da meiose é possível formar outro indivíduo que herda características do pai, da mãe ou até mesmo de outros antepassados.

Grupo 2 – É que na meiose se divide os cromossomos para que na fecundação eles se juntem, os do pai e os da mãe, assim trazendo nossa genética.

É possível que todas as atividades propostas nesta SD tenham ajudados os alunos a terem respondido as questões de forma satisfatória. Nesta atividade também foi sugerido aos grupos elaborar novas perguntas, criar hipóteses ou conclusões sobre os assuntos que leram no texto ou que trabalharam nas aulas dessa SD. Muitos relataram as suas conclusões, principalmente, demonstrando que tiveram entendimento do conhecimento proporcionado pela sequência didática e sobre o quanto foi importante a participação em todas as aulas, deixando claro para o professor o entendimento deles a respeito das atividades desenvolvidas. Foram elencadas também algumas perguntas ou curiosidades, como por exemplo: Por que o ambiente, em algumas situações, atrapalha na determinação dos cromossomos da espécie? Todos os animais têm o mesmo número de cromossomos? O que mostra mais da teoria de Mendel?

4.2.7 – Nona aula - Avaliação do questionário final

Após o término de todas as atividades propostas na SD, os alunos foram convidados a responderem quatro perguntas abertas para que o professor pudesse avaliar o nível de entendimento dos alunos sobre o conteúdo trabalhado (ver abaixo e apêndice IV).

QUESTIONÁRIO FINAL

Leia com muita atenção o texto abaixo para poder responder as questões que se seguem.

Pedro, um rapaz muito estudioso que estava concluindo o Ensino Médio, foi procurado por seus primos de primeiro grau Maria e João para que ele pudesse ajudá-los a esclarecer algumas dúvidas sobre genética, já que eles são casados e querem ter um filho.

O casal tinha as seguintes dúvidas:

- João tinha uma doença hereditária, chamada **fibrose cística (doença autossômica recessiva)** conhecida também como doença do beijo salgado, que pode ter sintomas diversos como: alterações glandulares; tosse; infecções pulmonares; incapacidade de ganhar peso; fezes

gordurosas e outros, herdada do seu pai, Sr. Raimundo. Sua mãe, dona Joana, não apresentava essa doença;

- Eles não entendiam porque Felipe e Marcos, irmãos de João, eram saudáveis e só ele tinha a doença.

- Tampouco não entendia porque a mãe de Maria, Dona Lúcia, que era irmã do Sr. Raimundo também não tinha a doença. Eles não sabiam se alguns dos avós tinham a doença, pois haviam falecido muito cedo.

- Queriam saber como eram passadas as informações de pai para filho.

- Queriam saber se por serem primos o que isso poderia acarretar no futuro filho, ele poderia ter mais chance de ter a doença?

Levando em consideração as informações do texto e o seu conhecimento, responda as perguntas abaixo como se fosse o Pedro:

01 – Como as informações genéticas são passadas de pais para filhos?

02 - Através de que processo de divisão celular isso ocorre?

03 - Qual é o principal resultado desse processo de divisão celular?

04 – Usando letras, represente o genótipo do Sr. Raimundo, da dona Joana, do João, do Felipe e do Marcos.

As perguntas dessa atividade final contextualizaram a genética com o exemplo a fibrose cística em uma família hipotética. No quadro 3 estão relatadas as perguntas do questionário à esquerda e a distribuição dos tipos de respostas dos estudantes. Considerou-se como padrões para correção, as seguintes respostas:

- Pergunta 1 - **Correta**, quando respondeu que é através do material genético no momento da fecundação; **incompleta**, quando escreveu que seria somente através do material genético ou somente no momento da fecundação; **errada**, quando não escreveu nenhuma das respostas anteriores.
- Pergunta 2 - **Correta**, através do processo de divisão celular meiose; **incompleta**, quando escreveu apenas através da divisão celular; **errado**, quando colocou outro tipo de resposta.
- Pergunta 3 - **Correta**, através do processo da meiose onde serão formadas quatro células gaméticas (ou quatro novas células) com a metade das informações genéticas; **incompleta**,

quando escreveu que formaria quatro novas células ou simplesmente colocou que reduziria o material genético pela metade; **errada**, quando deu outro tipo de resposta.

- Pergunta 4 - **Correta**, quando colocou as letras **aa** para o Sr. Raimundo, **Aa** para a dona Joana, **aa** para o João e **Aa** para Marcos e para Felipe; **incompleta**, quando errou pelo menos um genótipo; **errado**, quando errou todos os genótipos.

Quadro 3 – Análises das respostas ao questionário final.

Questão	Corretas	Incompletas*	Erradas
1 - Como as informações genéticas são passadas de pais para filhos?	38	11	1
2 - Através de que processo de divisão celular isso ocorre?	48	2	0
3 - Qual é o principal resultado desse processo de divisão celular?	43	7	0
4 - Usando letras, represente o genótipo do Sr. Raimundo, da dona Joana, do João, do Felipe e do Marcos.	46	2	2

*** Relação estabelecida pelos alunos nas respostas incompletas** (ver quadro 3).

- Na Pergunta 1 - Dentre os 11 alunos que responderam essa questão de forma incompleta, dois descreveram que as informações são passadas pela fecundação e nove responderam somente que era por meio do material genético.
- Na pergunta 2 – Dois alunos responderam que foi por meio da divisão celular.
- Na pergunta 3 - Um aluno respondeu que houve formação de quatro células e seis que o resultado foi por meio da redução do material genético
- Na pergunta 4 - Dois alunos responderam que Joana teria as letras AA

Avaliando o desempenho dos educandos nesta última atividade percebeu-se que houve índices de acerto entre 76 e 96%. Fazendo uma comparação com os índices de acertos para os exercícios iniciais, que foi de 45% (quadro 1) percebeu-se um grande aumento na porcentagem de indivíduos que deram respostas completas e corretas sobre os assuntos em estudo.

5. DISCUSSÃO

A construção de uma sequência didática inovadora é sempre desafiadora para professores do Ensino Médio que estão acostumados ao ensino tradicional e que se veem sobrecarregados com uma carga horária de trabalho extensa. Neste sentido, Nascimento (2004) afirma que para ocorrer uma aprendizagem mais significativa e o rompimento com o ensino tradicional é preciso, primeiro, uma mudança na formação do professor para que, posteriormente, esse novo domínio chegue até os alunos.

Considerando a importância do ensino de biologia e, em especial, o ensino da genética para a sociedade atual, este trabalho propôs uma SD que facilitou a compreensão de alguns aspectos da genética, principalmente, o entendimento da relação meiose e genética mendeliana.

Durante o planejamento da SD proposta, obviamente, existiam dúvidas quanto a esta ser a estratégia mais atraente e significativa para os alunos do EM, bem como, quanto às abordagens destes assuntos tão complexos e muitas vezes difíceis de serem ensinados e, conseqüentemente, aprendidos pelos alunos. Algumas perguntas importantes que guiaram a construção da SD foram: como no ensino-aprendizagem da meiose estão conectadas as informações genéticas que são passadas para as próximas gerações através da reprodução? Qual a relação entre esse processo de divisão celular e as leis de Mendel e a teoria cromossômica de herança? É possível os alunos entenderem e conectarem essas duas teorias através de atividades mais práticas e do cotidiano? Como aproximar esses termos complexos do dia a dia dos alunos? Assim, era importante saber se essa SD passaria realmente aquilo que se objetivou, se respondia as nossas dúvidas e se seria compreensível para o aluno.

Percebeu-se que as atividades propostas nesta SD conseguiram responder quase todas estas perguntas, principalmente às pertinentes à meiose e genética mendeliana, de uma forma bem satisfatória e motivadora para os alunos participantes. Foi possível experimentar que o professor de biologia do EM, à medida que toma a decisão de adotar uma metodologia para o ensino-aprendizagem mais significativa, participativa e investigativa levará o aluno a ser protagonista do seu conhecimento e, certamente, acabará transformando esse ensino para toda a vida acadêmica desse aluno.

Carvalho (2013) diz que na construção da SD deve-se ter um conjunto de aulas que aborda um determinado assunto escolar. Assim, cada atividade deve ser bem planejada para levar o aluno a mobilizar os seus conhecimentos prévios e chegar ao conhecimento científico. Observamos também no decorrer da aplicação desta SD que a construção do conhecimento foi

se consolidando à medida que se ia introduzindo novos conceitos básicos, permitindo que os alunos fossem interagindo, por meio de atividades práticas.

O processo de avaliação da SD e o desenvolvimento das aulas possibilitaram apresentar conceitos e, ao mesmo tempo, esclarecer as dúvidas que iam surgindo após cada atividade, de forma a proporcionar conhecimentos básicos para as etapas subsequentes. Isso reforça o que diz Zabala (1998) que as SDs são uma gama de atividades organizadas e articuladas que leva à concretização de objetivos educacionais e, que é significativa para os alunos e, também para o professor. Também ressalta Gomes (2008), que um dos problemas da aprendizagem de biologia está relacionado com a motivação do aluno para aprender e, também do professor para ensinar de forma mais atraente. Percebeu-se que com o decorrer das aulas os alunos passaram a participar mais ativamente e estavam bem mais motivados se comparado ao que se observava nas aulas anteriores à implantação dessa SD. Assim, a sequência foi se consolidando gradualmente, aula após aula.

Ao selecionar as atividades dessa SD pensou-se em algo que fosse fácil de executar em todas as realidades escolares e que levassem os envolvidos a aprenderem os conteúdos básicos da meiose e da genética mendeliana, fazendo sentido àquilo que estava trabalhando com a sua vida, seu dia a dia. Dessa forma o fio condutor com o tema fecundação foi o introdutório e as demais atividades foram complementares às construções e solidificações dos conhecimentos pretendidos nesta SD.

Todas as atividades desta SD foram pensadas para serem somatórias para aprendizagem da meiose e da genética mendeliana, como é o caso do modelo mental. Moreira (1996, p.196), diz que “um modelo mental é uma representação interna de informações que corresponde analogamente com aquilo que está sendo representado”. Esse mesmo autor define que os modelos mentais são construídos por pessoas para representar estados físicos ou abstratos de algo em estudo e que esses modelos não precisam ser tecnicamente perfeitos.

No entanto, a prática Meiose no papel foi a principal atividade para potencializar o entendimento entre os eventos da meiose e a compreensão da teoria cromossômica de herança ou genética mendeliana, como era mesmo o objetivo inicial no planejamento. Esta prática já havia sido publicada por duas docentes da área de Genética da UFMG (Adlane Vilas-Boas e Mônica Bucciarelli Rodriguez) em 2009 em um panfleto distribuído a professores e licenciandos do curso de Ciências Biológicas. O roteiro foi, posteriormente, modificado por Diego Dayvisson e Adlane Vilas-Boas para publicação no portal pontociência da UFMG e no portal do Professor do MEC, atingindo um maior número de professores e estudantes. O uso dessa prática no contexto deste trabalho consolida sua importância documentando como os

estudantes do EM se beneficiam do seu uso. A prática, apesar de lidar com as etapas principais da divisão meiótica não tem o foco na nomenclatura e sim no processo da transmissão das características de uma geração para outra, que está implícito no ensino das leis de Mendel. O manuseio dos cromossomos permitiu aos alunos uma visualização, mesmo que simples, da forma tridimensional de como estes cromossomos estão organizados dentro das células, das ações necessárias para terem seu número reduzido e como isto leva à formação de gametas com genótipos diferentes a partir de uma mesma célula. Os eventos que levam à formação de um genótipo diploide completam a prática em uma fecundação onde os grupos se portam como se fossem os indivíduos doadores dos gametas.

Em uma pesquisa de observação dos licenciandos na disciplina Laboratório de Ensino de práticas da UFMG, desenvolvendo em sala de aula esta atividade Guerra (2019) verificou que existem diversos problemas de entendimento dos conceitos da meiose e da genética mendeliana. O autor questiona por que estes erros persistem já que estes passaram por disciplinas de biologia celular e genética onde certamente foram apresentados ao tema da meiose. Seriam os erros conceituais persistentes devido à aprendizagem do tema de forma errônea no EM? De toda forma a importância de rever o tema em uma disciplina de ensino de genética é muito importante, pois quando esses acadêmicos se tornarem profissionais e chegarem às salas de aulas poderão estar mais cientes dos conceitos envolvidos e assim utilizar metodologias que auxiliem o aprendizado de seus alunos. Ele ainda faz uma ponderação sobre as possibilidades de erros decorrentes da transmissão de conhecimento do professor em relação a escolha da SD, como pode ser verificado no trecho do texto a seguir: “Os professores podem apresentar para os estudantes algumas ideias não muito compatíveis com o conhecimento científico ou aplicar uma SD que dê margem para os estudantes trazerem outras interpretações durante as aulas”.

Analisando o questionário inicial observou-se que 57% dos alunos deram respostas incompletas quando foi solicitado a eles colocar a quantidade de cromossomos sobre cada imagem de células e organismos. O que constatamos neste questionário é que eles sabiam a quantidade de cromossomos para uma determinada fase, como por exemplo nos espermatozoides, mas não conseguiam fazer a mesma relação com a quantidade de cromossomos dos ovócitos, demonstrando que não tinham conexão sobre a semelhança entre as células germinativas masculinas e femininas no que diz respeito ao material genético. Esta observação permitiu a associação com o trabalho de Santos e colaboradores (2015), no sentido que faltam eixos integradores entre os conteúdos de biologia, principalmente, a relação entre os tópicos de genética com a biologia celular. Esses mesmos pesquisadores realizaram um estudo

qualitativo com estudantes do EM e observaram que eles apresentavam dificuldades em entender e compreender o tópico da teoria cromossômica da herança.

Na atividade onde foi solicitado aos alunos fazerem modelos mentais a partir de informações orais apresentadas no áudio de um programa de rádio, percebeu-se que tanto o DNA como o cromossomo foram representados por grande parte dos alunos. Nesta atividade houve descrições simples e outras muito bem elaboradas, apresentadas por alguns alunos que representaram os cromossomos relacionando com a estrutura do DNA, enquanto outros representaram apenas como um círculo, embora, neste último caso, o aluno tenha representado o número correto da espécie humana. Foi possível perceber ainda que diversas representações dos cromossomos são atreladas a outras formas. Uma análise mais detalhada desses desenhos poderá trazer contribuições sobre conceitos errôneos que os estudantes já trazem consigo e que podem ser trabalhados pelo professor durante as atividades subsequentes.

A atividade inicial que foi solicitada na terceira aula (sobre a compreensão da transferência do material genético) permitiu verificar como os estudantes imaginavam o cromossomo. Foi observado que 61% dos alunos tinham já consolidado um modelo de representação dos cromossomos em forma de X enquanto outros 23% usaram outros tipos de representação mais simples (através de desenhos de células etc.). Com essa atividade e, também do modelo mental realizado com estes alunos, pôde-se presumir que eles já tinham conhecimentos sobre o processo de transferência do material genético, no entanto, não conseguiam expressar corretamente com as imagens correspondentes aos cromossomos. Nesta mesma aula, foi proposto aos alunos responderem quatro perguntas sobre o processo de transferência do material genético e percebeu-se que quando perguntados quando os pares de cromossomos paternos e maternos se separam, cinco dos 12 grupos não tinham claro que é apenas na meiose que ocorre a separação dos cromossomos de diferentes origens.

A atividade dinâmica dos cromossomos permitiu fazer uma avaliação de como estava o desenvolvimento da SD através da observação do comportamento e empenho dos alunos para desenvolver a atividade. O ato de movimentar e ir para a quadra estimulou a participação do aluno pois é um ambiente novo e motivador. Por outro lado, esse novo ambiente pode causar dispersão da atenção dos estudantes exigindo uma ação bem direcionada do professor. Ter usado o ambiente da sala de aula para explicar a prática auxiliou neste quesito. Para esta prática foi pensado que o uso de apenas uma letra para representar os loci nos 23 cromossomos facilitaria o encontro dos diferentes pares de homólogos. Porém foi visto que isto acabou por se constituir em um erro metodológico que pode ter levado os alunos a um erro conceitual. No momento de preparação dos gametas para essa prática foi pensado que os alunos deveriam

escrever as letras que representassem os alelos. Foi instruído que usassem apenas as letras A ou a. Pretendia-se aqui facilitar a atividade e relacionar com os exemplos alélicos mais usados no ensino de genética nos materiais didáticos. Porém, essa sugestão implicou em que todos os cromossomos tivessem a mesma letra o que não está de acordo com o conceito de *locus*. A sugestão então é de que o professor elabore a atividade confeccionando os cromossomos em pares de cores, tamanho e que escreva ele mesmo as letras variadas. Desta forma, o professor pode também escolher quantos pares homocigotos ou heterocigotos a célula terá nos diferentes loci, usando por exemplo, o primeiro par aa, Bb, CC e assim sucessivamente até completar os 23 pares.

Outro erro conceitual também percebido no momento da escrita desse trabalho foi sobre os modelos dos cromossomos. Foi pensado que o contato dos alunos com os modelos de cromossomos da prática Meiose no papel antes da prática auxiliaria na condução da prática em si pois estariam se familiarizando com o modelo. No entanto, o cromossomo foi entregue aberto, ou seja, representando um cromossomo duplicado. Isto leva novamente ao modelo de cromossomo em forma de X que o aluno tem em mente, e que só seria visto no momento da divisão celular e não da fecundação, a qual estava sendo representada naquela dinâmica. A sugestão, então, é usar esse mesmo modelo, com o cuidado de cortar no pontilhado de forma a transformar esse cromossomo duplicado em simples.

Analisando a prática Meiose no Papel percebeu-se o quanto ela é adequada para o ensino tanto das etapas da meiose quanto da relação que pode ser feita desta divisão celular com a genética mendeliana. No entanto, ela é desafiadora e requer dos alunos motivação e alguns conhecimentos específicos, especialmente em uma SD como a desenvolvida neste estudo. É preciso enfatizar que uma prática não precisa estar atrelada a uma aula teórica sobre o mesmo assunto previamente. Uma prática pode, por si só, levar o aluno a conhecer e desenvolver um conteúdo que é novo para ele. Qualquer prática, mesmo desafiadora como esta, pode ser desenvolvida com auxílio do professor e, também, ser um estímulo à pesquisa de conceitos se os alunos tiverem dificuldades.

Uma questão fundamental que necessitou da intervenção do professor foi sobre a relação de segregação dos cromossomos com a segregação independente proposta por Mendel. Deve ser enfatizado que é indispensável que o professor deixe muito bem esclarecido para os alunos que através da segregação dos cromossomos e das cromátides é que pode perceber as ideias propostas por Mendel. Importante também relacionar que os cromossomos nos seres diploides são vistos aos pares como a ideia dos fatores mencionada por Mendel e, por fim, relatar que os cromossomos homólogos são separados ao acaso, no momento da meiose, gerando células

haploides e que, por isso, o processo tem semelhança com a lei da segregação independente proposta por Mendel.

Nesta atividade foi solicitado que os grupos lessem, interpretassem e respondessem item por item cuidadosamente, e só depois prosseguir com a atividade, sem preocupação com o tempo, valorizando o sentido que a aula estava dando para a aprendizagem. Conforme os resultados analisados percebeu-se que os alunos avaliados apresentaram dificuldades no entendimento de termos como: duplicação, divisão, crossing-over, cromátides e cromátides irmãs. Neste sentido, é importante fazer uma correlação com o trabalho de Guerra (2019) que constatou semelhante dificuldade em alunos do curso de Licenciatura em Biologia com alguns termos básicos da meiose. Alguns tinham dificuldades de entendimento dos termos inerentes à meiose como duplicação e replicação e, apresentavam também dificuldades para relacionar os termos matemáticos presentes na meiose como multiplicação, divisão e permuta. Na escola avaliada, a meiose é ensinada no primeiro ano do EM e é provável que as dificuldades que a maioria dos alunos apresentaram nesta atividade sejam devidas à forma como a meiose foi ensinada naquela série.

A construção da SD proporcionou ao pesquisador deste trabalho enquanto professor do EM um outro olhar para a aprendizagem do aluno. Muitas vezes existe preocupação em conseguir concluir todo o conteúdo de biologia do cronograma de atividades e deixa-se de fazer uma avaliação do que realmente os alunos estão aprendendo e do que eles precisam aprender. Neste sentido os professores do EM deveriam fazer frequentemente algumas perguntas acerca do seu trabalho: o que estou ensinando realmente faz sentido para o aluno? A metodologia utilizada está adequada para a realidade dessa turma? Os conteúdos trabalhados estão fazendo sentido na aprendizagem do aluno? Estou trabalhando de acordo com a realidade e a necessidade dos alunos?

Assim devemos responder as perguntas acima de forma a melhorar as atividades diárias, indo além das observações de desempenho dos alunos em provas ou outros meios de avaliações externas, o que muitas vezes é o parâmetro avaliativo nas escolas. Frequentemente os alunos são bem avaliados em um conteúdo e alcançam boas notas, mas passando um certo período esses alunos já não se lembram do que foi trabalhado. Isso mostra que o conteúdo não foi apreendido realmente e, possivelmente, foi apenas memorizado para a avaliação. Ou seja, não foi um aprendizado significativo. É importante fazer uma relação aqui com o que foi constatado por Paiva e Martins (2005) que descreveram que devido ao excesso de atividade, a falta de tempo e a desconexão dos conteúdos, muitas vezes o professor não tem oportunidade de

constituir uma lógica entre os conceitos trabalhados. Isto pode levá-lo a não ensinar ou avaliar o aluno da melhor forma.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir desse trabalho foi possível verificar que o processo de ensino-aprendizagem de meiose relacionando à genética mendeliana é necessário e importante nas escolas do ensino médio. Nos livros didáticos a meiose é normalmente ensinada no 1º ano e o ensino da genética acontece no 3º ano contribuindo para esta desconexão. Assim, aquilo que o aluno aprendeu no 1º ano já não faz sentido na aprendizagem da genética mendeliana quando ele chega ao 3º ano. Pelos relatos espontâneos dos alunos e pela motivação aparente das turmas foi possível ver que a sequência auxiliou no seu aprendizado sobre a meiose e genética de forma diferente e, possivelmente, com mais significado para a sua aprendizagem.

Esse trabalho permitiu ao professor refletir sobre metodologias alternativas ao ensino tradicional e motivar seus alunos a quererem aprender mais. Possibilitou-se também a internalização do conhecimento e gerou-se novas habilidades e competências tanto para os alunos quanto para o professor.

Enfim, este trabalho conseguiu cumprir com o seu principal objetivo que era elaborar uma sequência de aulas que fosse significativa para o ensino-aprendizagem da meiose e da genética mendeliana tendo como produto final a própria sequência didática. A publicação deste trabalho em revistas que o professor tenha acesso poderá auxiliar para que a correlação entre os dois temas seja explicitado e que mais professores tenham o desejo de conduzir o ensino dos temas de forma semelhante ao que foi aqui proposto. Outra forma de divulgar este trabalho é o compartilhamento com outros professores das escolas de atuação do pesquisador autor deste trabalho, seja através de apresentação e distribuição do material como também rodas de conversa e oficinas. Os colegas poderão, inclusive, trazer um aporte importante à sequência com sua experiência e seus questionamentos.

REFERÊNCIAS

AMABIS, J.M., MARTHO, G.R. *Biologia Moderna - AMABIS & MARTHO*. 3 volumes, 1ª ed. Ed Moderna, 2018.

AZEVEDO, M. C. P. S. Ensino por Investigação: Problematizando as Atividades em Sala de Aula. In: CARVALHO, A. M. P. *Ensino de Ciências: unindo a Pesquisa e a Prática*. 1 ed. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004. cap. 2, p.19-34.

BELMIRO, M.; PRÁXIS, M. DE B.-R. Ensino de genética no ensino médio: uma análise estatística das concepções prévias de estudantes pré-universitários. *Revistas. Unifoa. Edu. Br*, 2017.

BUGALLO RODRÍGUEZ, A. La didáctica de la genética: revisión bibliográfica. *Enseñanza de las ciencias*, v. 13, n. 3, p. 379-385, 1995.

BUENO, J. G. S. Função social da escola e organização do trabalho pedagógico. *Revista Educar*. Curitiba, n.17, p.101-110. 2001.

CARVALHO, A. M. P. O ensino de Ciências e a proposição de sequências de ensino investigativas. In: CARVALHO, A. M. P. (org.) *Ensino de Ciências por investigação: Condições para implementação em sala de aula*. Editora: Cengage Learning, 2013.

COSENZA, R. M.; GUERRA, L. B. *Neurociência e educação: como o cérebro aprende* – Porto Alegre: Artmed, 2011.

DELVAL, J. *Aprender na Vida e Aprender na Escola*, Editora Artmed, Porto Alegre, 2001.

GIACÓIA, L.R.D. *Conhecimento básico de genética: concluintes do ensino médio e graduandos de ciências biológicas*. [Mestrado em Educação para a Ciência]. Bauru: Universidade Estadual Paulista, 2006.

GIL-PEREZ, D.; VALDÉS-CASTRO, P. La orientación de las practicas de laboratorio como investigación: un ejemplo ilustrativo. *Enseñanza de las ciencias*, 14 (2), 1996.

GOLDBACH, T.; DYSARZ PEREIRA, F.; SARDINHA, R.; PAPOULA, N.; DA CARDONA, T. Para repensar o ensino de genética: levantamento e análise da produção acadêmica da área do ensino de ciências e biologia no Brasil. *Enseñanza de las ciencias*, n. extra, p. 1830-1834, 2009. Disponível em: <https://ddd.uab.cat/record/130312> . Acesso em: 07 de junho de 2019.

GOMES, F. K. S.; CAVALLI, W. L.; BONIFÁCIO, C. F. Os problemas e as soluções no ensino de ciências e biologia. 1º Simpósio Nacional de Educação XX Semana da Pedagogia, Cascavel, 2008.

GUERRA, L. F. Análise das concepções sobre meiose e sua relação com conceitos genéticos em diagramas resolvidos por estudante de licenciatura em Ciências Biológicas. Dissertação (Dissertação em Biologia) - UFMG. Belo Horizonte. 2019.

KLAUTAU-GUIMARÃES, M. DE N. et al. Entendendo a variação genética. *Genética na Escola*, v. 6, n. 1, p. 31–41, 2011.

KNIPPELS, M. C. P. J. Coping with the abstract and complex nature of genetics in biology education – The yo-yo learning and teaching strategy. [s.l.] Proefschrift Universiteit Utrecht, 2002.

KRASILCHIK, M. *Prática de Ensino de Biologia*, 4ª Edição, Editora USP, São Paulo, 2004.

KRASILCHIK, M. O professor e o currículo das ciências. Coleção Temas básicos de Educação e Ensino. São Paulo, Ed. EPU, 80 p, 2005.

LINHARES, S.; GEWANDSZNAJDER, F. *Biologia Hoje*, volume 3. São Paulo: Editora Ática, 2018.

LEAL, C. A.; RÔÇAS, G. Análise de conteúdo: um instrumento metodológico para o ensino de ciências. In: OLIVEIRA, A.L.; VIEIRA, V.S. (Org). *Nossos Talentos: 10 anos do PROPEC/IFRJ*. 1ª ed. Nova Iguaçu: Editora Entorno, 2017.

LOPES, S.; ROSSO, S. *Bio*. 3 volumes, 3 ed. Saraiva Educação, 2018.

MEIRIEU, P. *Aprender... sim, mas como?* 7ª edição. Porto Alegre: Artmed, 1998.

MOREIRA, M. A. (1996): Modelos Mentais. In: *Investigações em ensino de ciências*, n. 3, v. 1, 1996, p. 193-232. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/~moreira/modelosmentaisport.pdf> Acesso em: 30/03/2019.

NASCIMENTO, V. B. (2004): “A natureza do conhecimento científico e o ensino de ciências”. Disponível em: <http://fep.if.usp.br/~profis/arquivos/vienpec/CR2/p452.pdf> Acesso em: 21/06/2019.

PAIVA, A. L. B.; MARTINS, C. M. C. Concepções prévias de alunos de 3º ano do Ensino Médio a de temas na área de Genética. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 7, n. 3, p. 182–201, 2005.

SANTOS, F. D.; SILVA, A. F. G.; FRANCO, F. F. 110 anos após a hipótese de Sutton-Boveri: a teoria cromossômica da herança é compreendida pelos estudantes brasileiros? *Ciência & Educação (Bauru)*, v. 21, n. 4, p. 977–989, dez. 2015.

SILVEIRA, R. V. M.; AMABIS, J. M. Encontro nacional de pesquisa em educação em ciências, 4., 2003, Bauru. Como os estudantes do ensino médio relacionam os conceitos de localização e organização do material genético? Bauru: anais, ABRAPEC, 2003.

TEMP, D. S.; CARPILOVSKY, C. K.; GUERRA, L. Cromossomos, Gene e DNA: utilização de modelo didático. *Genética na Escola*, v. 6, n. 1, p. 9-11, 2011.

TEMP, D. S. Facilitando a aprendizagem de genética: Uso de um modelo didático e análise dos recursos presentes em livros de biologia- Monografia: Programa de pós-graduação em educação em ciências: Química da vida e saúde. Rio Grande do Sul. 2011.

TRIVELATO, S. L. F. O ensino de genética em uma escola de segundo grau. 1987. 355 p. Dissertação (Mestrado em Biologia) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1987.

VASCONCELLOS, C. S. Coordenação do trabalho pedagógico: do projeto político pedagógico ao cotidiano da sala de aula, 6.^a ed. São Paulo: Libertad Editora, 2006.

XAVIER, M. C. F., FREIRE, A. S., MORAES, M. O. A nova (moderna) biologia e a genética nos livros didáticos de biologia no ensino médio. *Ciência e Educação*, v. 12, n. 3, p. 275-289. 2006.

YIN, R.K. Estudo de caso: planejamento e métodos, 5.^a ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

ZABALA, A. A. A prática educativa: como ensinar. Porto Alegre: Artmed, 1998.

APÊNDICE I: TERMO DE ASSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO DO MENOR (ESTUDANTES)

Prezado estudante, você está sendo convidado a participar de uma pesquisa que será feita pelo professor Jeovanio José da Rocha e pelas professoras Dra. Adlane Vilas-Boas Ferreira e Dra. Rafaella Cardoso Ribeiro que se chama “Ciclo celular e genética: proposta de uma sequência didática participativa e investigativa a estudantes do Ensino Médio”.

Com essa pesquisa queremos entender a formação de conceitos de genética no ensino formal e o relacionamento deste com uma atividade prática investigativa que facilita o entendimento de processos básicos no ensino desta área da Biologia. Pretende-se com isso aperfeiçoar métodos para uma melhor aprendizagem da Biologia no ensino médio. Seus responsáveis deverão autorizar a sua participação e você pode querer participar ou não. Este estudo envolve riscos mínimos, ou seja, pode haver riscos de cansaço, desconforto com relação à atividade, constrangimento em responder as perguntas, mas faremos o possível para que toda a atividade seja a mais tranquila possível e a qualquer momento você poderá pedir a/o pesquisador/a para mudar de tópico ou não responder as perguntas.

Em alguns casos a atividade poderá ser filmada e/ou fotografada para que não se perca detalhes do processo. Ao final da atividade os alunos poderão ser convidados a responder a um questionário avaliando a atividade. As possíveis filmagens ou fotografias obtidas no decorrer do trabalho serão guardadas com a pesquisadora Dra. Adlane Vilas Boas no Instituto de Ciências Biológicas da UFMG durante 5 anos, e depois desse período serão destruídas. Acreditamos que você irá gostar da atividade e poderá contar para o/a professor/a a sua experiência.

Não disponibilizaremos as informações que você nos der a estranhos. Os resultados da pesquisa serão publicados, mas sem identificar os nomes dos jovens que participaram. Quando terminar a pesquisa o professor Jeovanio José da Rocha falará o que descobriu para professores e colegas da Universidade Federal de Minas Gerais e para quem quiser ler sobre a pesquisa na dissertação e artigos. Se você tiver alguma dúvida, você pode perguntar ao seu professor, os telefones delas estão na parte de baixo deste texto e você pode ligar se tiver dúvidas sobre a pesquisa.

Dra. Rafaella Cardoso Ribeiro
Pesquisadora orientadora responsável

Jeovanio José da Rocha
Pesquisador responsável

Eu, _____, declaro que fui consultado(a) pelos responsáveis do projeto de pesquisa Ciclo celular e genética: proposta de uma sequência didática participativa e investigativa a estudantes do Ensino Médio, Professora Dra. Adlane Vilas-Boas Ferreira, telefone (31) 3409 - 2980, Dra. Rafaella Cardoso Ribeiro, telefone, (31) 3409 - 2980, e Jeovanio José da Rocha, telefone, (31) 99654 - 1073 para participar da pesquisa. Entendi sobre tudo que poderá ocorrer durante a pesquisa. Entendi que posso dizer “sim” e participar, mas que, a qualquer momento, posso dizer “não” e desistir e que não haverá problemas para mim. Os pesquisadores tiraram minhas dúvidas e conversaram com os meus responsáveis.

Li e concordo em participar da pesquisa.

_____, ____/____/____

Assinatura do(a) estudante

Em caso de dúvidas quanto aos seus direitos e à ética na pesquisa entre em contato com:
COEP - Comitê de Ética em Pesquisa – Universidade Federal de Minas Gerais - Av. Antônio Carlos, 6627 - Unidade Administrativa II - 2º andar, sala 2005 - Campus Pampulha - Belo Horizonte, MG – telefax: (031) 3409-4592, e-mail:coep@prpq.ufmg.br, site: <https://www.ufmg.br/bioetica/coeprpq.ufmg.br>>.

APÊNDICE II: TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (PAIS)

A pesquisadora Profa. Dra. Adlane Vilas-Boas Ferreira, Profa. Dra. Rafaella Cardoso Ribeiro e o pesquisador Jeovanio José da Rocha vem solicitar sua autorização para participação voluntária da criança/jovem sob sua responsabilidade na pesquisa denominada: **Ciclo celular e genética: proposta de uma sequência didática participativa e investigativa a estudantes do Ensino Médio.**

Pesquisadora responsável: Profª Drª Adlane Vilas-Boas e-mail: adlane@ufmg.br/fones: (31) 3409-2980.

Co-orientadora: Profª Dra. Rafaella Cardoso Ribeiro e-mail: rafaellacribeiro@gmail.com/ fone: (31) 3409-2980.

Mestrando: Jeovanio José da Rocha, e-mail: jeovanirocha@yahoo.com.br/ fone: (31) 99654 – 1073.

1. Esta seção fornece informações acerca do estudo em que a criança/jovem sob sua responsabilidade estará envolvido (a):

Você está sendo consultado sobre a autorização de criança/jovem sob sua responsabilidade para participar de uma pesquisa que visa a entender a formação de conceitos de genética no ensino formal a partir de uma atividade prática investigativa que facilita o entendimento de processos básicos nesta disciplina. Os estudos se dão no Ensino Médio e pretende-se com isto trazer informações pertinentes ao desenvolvimento de metodologias didáticas para o aperfeiçoamento do ensino na área que repercutirão na aprendizagem destes e outros jovens.

Para este projeto o professor-pesquisador está fazendo uma revisão bibliográfica, analisando trabalhos teóricos já existentes. A partir dessas pesquisas uma nova metodologia será elaborada e avaliada junto aos seus alunos. Em alguns casos a atividade poderá ser filmada e/ou fotografada para que não se perca detalhes do processo. Ao final da atividade os alunos poderão ser convidados a responder a um questionário avaliando a atividade.

Explicaremos aos estudantes do que se trata a pesquisa e pediremos a todos que assinem, por livre e espontânea vontade, o Termo de Consentimento. Àqueles que tiverem idade inferior a 18 anos, entregaremos também o Termo de Assentimento (que é o termo que a criança poderá ou não concordar com a pesquisa).

Em caso de dúvidas você pode entrar em contato com o pesquisador responsável através dos telefones e endereço eletrônico fornecidos nesse termo. Informações adicionais referentes aos aspectos éticos deste estudo podem ser obtidas no Comitê de Ética em Pesquisa (COEP) da Universidade Federal de Minas Gerais pelo telefone (31) 3409 4592 ou pelo endereço: Avenida Antônio Carlos, 6627- Unidade Administrativa II – 2º andar, sala 2005 – Campus Pampulha, Belo Horizonte, MG – CEP: 31270901.

Para a garantia das normas do Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG, informamos que os dados coletados serão confidenciais e utilizados unicamente para fins dessa pesquisa, podendo ser divulgadas em congressos, simpósios, seminários, revistas, livros e na dissertação de Mestrado do pesquisador.

A Identidade dos participantes ficará preservada por meio do uso de nomes fictícios. O material coletado será arquivado sob a guarda da pesquisadora Dra. Adlane Vilas Boas no Instituto de Ciências Biológicas da UFMG por um tempo de até 05 (cinco) anos e posteriormente será destruído fisicamente e/ou digitalmente.

2. Essa seção descreve os direitos dos participantes desta pesquisa:

A. Você e/ou a criança/jovem sob sua responsabilidade poderão fazer perguntas sobre a pesquisa a qualquer momento e tais questões serão respondidas.

B. A participação da criança/jovem é confidencial. Apenas os pesquisadores responsáveis terão acesso à sua identidade. No caso de haver publicações ou apresentações relacionadas à pesquisa, nenhuma informação que permita a sua identificação será revelada.

C. A participação da criança/jovem sob sua responsabilidade é voluntária. Ela será livre para deixar de participar da pesquisa a qualquer momento, bem como para se recusar a responder qualquer questão específica sem qualquer punição.

Este estudo poderá envolver filmagem e/ou a fotografias. Apenas os pesquisadores terão acesso a esses registros. Não haverá publicação da imagem da criança/jovem sob sua responsabilidade. Todos os registros, sem exceção, serão destruídos após o período de 5 anos.

E. Este estudo envolve riscos mínimos, como cansaço, desconforto com relação a atividade, constrangimento em responder as perguntas, mas faremos o possível para que toda a atividade seja o menos desgastante possível. Se houver, em algum momento da atividade, alguma questão em que a criança/jovem sob sua responsabilidade não se sinta confortável para responder, ela poderá informar a pesquisadora para que ela mude de tópico.

Desde já, agradecemos a sua colaboração e nos colocamos à disposição para quaisquer outros esclarecimentos. Caso você concorde que a criança/jovem sob sua responsabilidade participe da pesquisa, pedimos que preencha o termo abaixo e assine esse documento.

Pesquisadora co-orientadora responsável
Dra. Rafaella Cardoso Ribeiro

Pesquisador responsável
Jeovanio José da Rocha

Eu, _____, RG _____, responsável pela/o criança/jovem _____ declaro que fui consultado(a) pelos responsáveis pelo projeto de pesquisa, Professora Dra. Adlane Vilas-Boas, telefone (31) 34092980, Dra. Rafaella Cardoso Ribeiro, telefone, (31) 34092980, Jeovanio José da Rocha, telefone, (31) 99654 – 1073, e respondo positivamente à sua demanda de realizar a coleta de dados, conforme explicado acima. Terei liberdade para desautorizar a participação no projeto da/o criança/jovem sob minha responsabilidade a qualquer momento, sem qualquer prejuízo as partes. Entendi as informações fornecidas pelos pesquisadores, sinto-me esclarecido(a) para participar da pesquisa e registro meu consentimento livre e esclarecido.

Cidade, _____/_____/_____

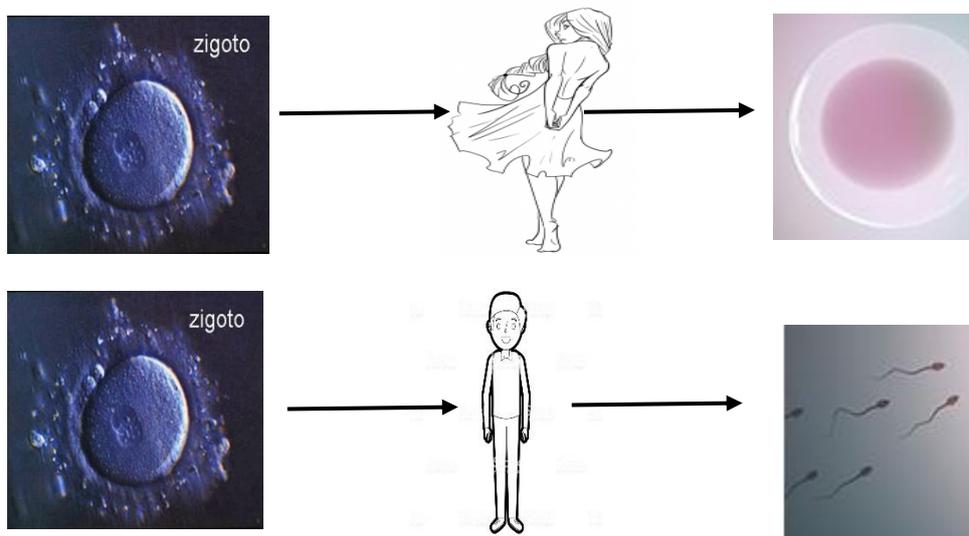
Assinatura do(a) responsável

Em caso de dúvidas quanto aos seus direitos na pesquisa e quanto à ética entre em contato com COEP - Comitê de Ética em Pesquisa – Universidade Federal de Minas Gerais - Av. Antônio Carlos, 6627 - Unidade Administrativa II - 2º andar, sala 2005 - Campus Pampulha - Belo Horizonte, MG – telefax: (031) 3409-4592, e-mail: <coep@prpq.ufmg.br>.

APÊNDICE III: QUESTIONÁRIO INICIAL

A continuidade da vida depende dos ciclos evolutivos de cada espécie e, também, da manutenção das características genéticas conservadas de uma geração a outra.

Observe o esquema abaixo que se refere ao ciclo do desenvolvimento humano, e em seguida responda as perguntas 1 e 2.



Imagens retiradas de: <https://www.omeubebe.com/engravidar/quero-ter-filho/fecundacao-ovulo>,
<https://www.istockphoto.com/br/vetor/desenho-animado-homem-personagem-masculino-em-p%C3%A9-pessoa-gm889302500-246568834> e <http://www.comoaprenderdesenhar.com.br/como-desenhar-uma-mulher-muito-facil/>

1 – No esquema acima onde ocorre o processo de divisão celular meiótica? Escreva a palavra **meiose**, nas **setas do esquema acima**.

2 – Sabendo-se que a espécie humana apresenta 46 cromossomos, escreva **acima de cada desenho** do esquema, a **quantidade de cromossomos** que você julga que existe nas células das diferentes fases do desenvolvimento aí representadas.

APÊNDICE IV: QUESTIONÁRIO FINAL

Leia com muita atenção o texto abaixo para poder responder as questões que se seguem.

Pedro, um rapaz muito estudioso que estava concluindo o Ensino Médio, foi procurado por seus primos de primeiro grau Maria e João para que ele pudesse ajudá-los a esclarecer algumas dúvidas sobre genética, já que eles são casados e querem ter um filho.

O casal tinha as seguintes dúvidas:

- João tinha uma doença hereditária, chamada **fibrose cística (doença autossômica recessiva)** conhecida também como doença do beijo salgado, que pode ter sintomas diversos como: alterações glandulares; tosse; infecções pulmonares; incapacidade de ganhar peso; fezes gordurosas e outros, herdada do seu pai, Sr. Raimundo. Sua mãe, dona Joana, não apresentava essa doença;
- Eles não entendiam porque Felipe e Marcos, irmãos de João, eram saudáveis e só ele tinha a doença.
- Tampouco não entendia porque a mãe de Maria, Dona Lúcia, que era irmã do Sr. Raimundo também não tinha a doença. Eles não sabiam se alguns dos avós tinham a doença, pois haviam falecido muito cedo.
- Queriam saber como eram passadas as informações de pai para filho.
- Queriam saber se por serem primos o que isso poderia acarretar no futuro filho, ele poderia ter mais chance de ter

Levando em consideração as informações do texto e o seu conhecimento, responda as perguntas abaixo como se fosse o Pedro:

- 01 – Como as informações genéticas são passadas de pais para filhos?
- 02 - Através de que processo de divisão celular isso ocorre?
- 03 - Qual é o principal resultado desse processo de divisão celular?
- 04 – Usando letras, represente o genótipo do Sr. Raimundo, da dona Joana, do João, do Felipe e do Marcos.

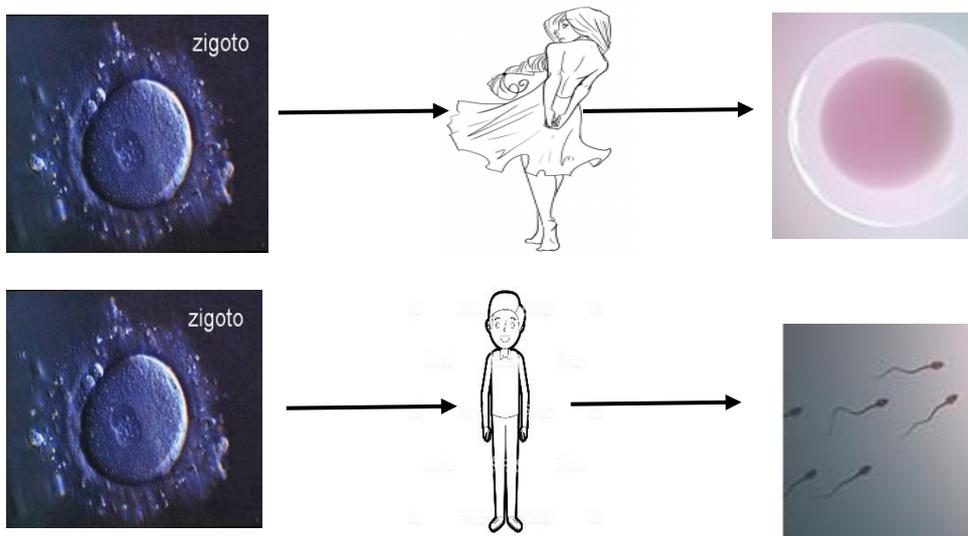
APÊNDICE V: ROTEIRO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O PROFESSOR

No primeiro momento quando pensou essa atividade didática achava-se melhor aplicá-la logo no início do ano letivo, já nas primeiras aulas. Sendo, obviamente, adaptável para qualquer período do ano letivo.

Primeira aula: questionário inicial para avaliação dos conhecimentos prévios

A continuidade da vida depende dos ciclos evolutivos de cada espécie e, também, da manutenção das características genéticas conservadas de uma geração a outra.

Observe o esquema abaixo que se refere ao ciclo do desenvolvimento humano, e em seguida responda as perguntas 1 e 2.



Imagens retiradas de: <https://www.omeubebe.com/engravidar/quero-ter-filho/fecundacao-ovulo>,
<https://www.istockphoto.com/br/vetor/desenho-animado-homem-personagem-masculino-em-p%C3%A9-pessoa-gm889302500-246568834> e <http://www.comoaprenderdesenhar.com.br/como-desenhar-uma-mulher-muito-facil/>

1 – No esquema acima onde ocorre o processo de divisão celular meiótica? Escreva a palavra **meiose**, nas **setas do esquema acima**.

2 – Sabendo-se que a espécie humana apresenta 46 cromossomos, escreva **acima de cada desenho** do esquema, a **quantidade de cromossomos** que você julga que existe nas células das diferentes fases do desenvolvimento aí representadas.

Segunda aula: elaboração de um mapa mental sobre conceitos básicos em genética.

Para verificar também o conhecimento prévio dos alunos sobre os conceitos básicos em genética o professor poderá iniciar as atividades com os alunos com a escuta de um áudio. Uma sugestão de áudio selecionado para essa atividade é: receita de gente do programa de rádio “Na Onda da Vida”, disponível em <https://www.ufmg.br/ciencianoar/conteudo/receita-de-gente/>.

Comece a atividade explicando para os alunos que eles deverão ouvir um áudio e que poderá ser repetido por duas ou três vezes, de acordo com a necessidade e o nível de entendimento da turma. Em seguida, determine um tempo, 15 a 20 minutos, para que os educandos possam desenhar ou escrever alguns conceitos chave que ouvirem, ou seja, deverão confeccionar um mapa mental sobre aquilo que ouvirem. Com isso, espera-se que os alunos possam demonstrar através de esquemas ou desenhos ilustrativos o que já sabem sobre os conceitos básicos de biologia celular e da genética mendeliana, principalmente, os seguintes termos da genética presente no áudio: DNA e cromossomos.

Com isso, é possível fazer uma atividade introdutória ao estudo da genética mendeliana e ao mesmo tempo ter elementos para fazer uma breve avaliação do conhecimento prévio que cada aluno tem sobre esse assunto.

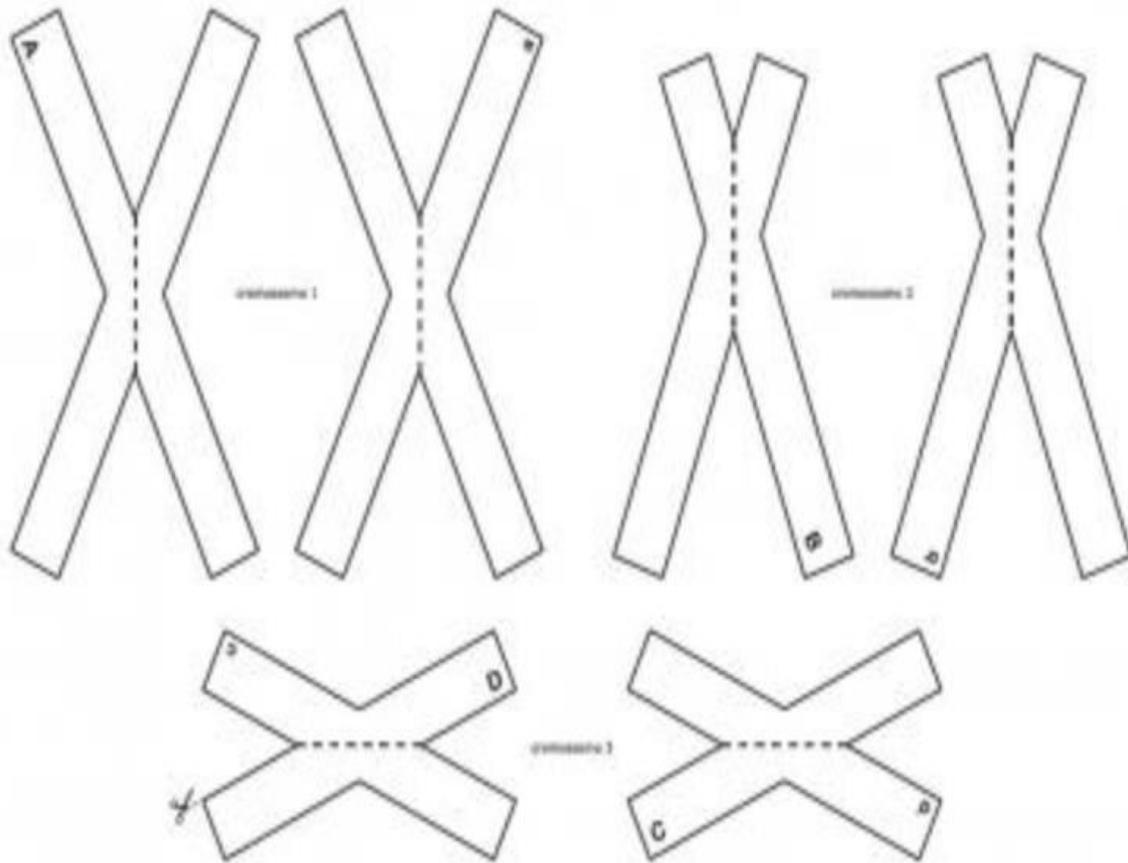
Se sobrar algum tempo nesta aula, o professor poderá solicitar que os alunos, espontaneamente, compartilhem aquilo que fizeram com os colegas. Não se preocupe com os acertos, veja e avalie apenas o que fizeram.

Terceira aula: Compreensão básica da transferência e evolução do material genético

Com essa atividade é possível explorar os seguintes termos em genética: formação de gametas; ideias de transferência de DNA através das gerações; cromossomos; genes e recombinação. Para isso, os alunos farão a confecção de modelos de cromossomos, em papel, para a consolidação deste conceito.

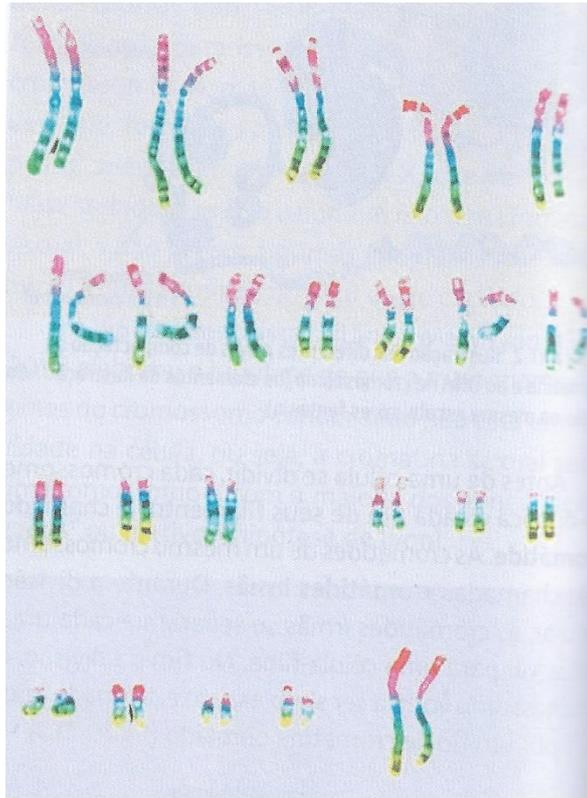
Primeiramente, eles deverão ser motivados a desenharem os modelos de cromossomos que julgam como certos, sem consultas a livros ou a internet. Estipule um tempo 5 a 10 minutos para isso. Logo após o término dos desenhos, entregue modelos reproduzidos e já publicados retirados de livros ou da internet, para que possam fazer comparações e/ou esclarecimentos daquilo que desenharam se está certo ou se precisam

corrigir. Uma sugestão de cromossomos são os modelos da prática “Meiose no Papel: Cromossomos e Segregação Independente” Veja abaixo:



Cromossomos da Prática Meiose no Papel

Eles também poderão ser estimulados a ilustrarem e recortarem os cromossomos que receberam de forma a representar a herança paterna e materna. Poderá ser entregue um modelo de cariótipo humano, com 23 pares de cromossomos homólogos, e representados de forma **não duplicada**, para perceberem as diferentes formas e tamanhos que representam os cromossomos. Veja abaixo:



Modelo de cariótipo humano retirado do livro didático *Biologia Hoje*

Posteriormente à confecção e comparação dos cromossomos, os alunos deverão ser agrupados, 3 a 5 alunos por grupo, para discutirem as atividades que terminaram de fazer e iniciar uma introdução ao estudo da meiose e da genética mendeliana.

Possíveis perguntas para discussão:

- 1 - Como ocorre a transferência de material genético de pais para filhos?
- 2 - Quando os pares de cromossomos paternos e maternos se separam?
- 3 - Como é possível filhos nascerem com características genéticas diferentes dos pais?

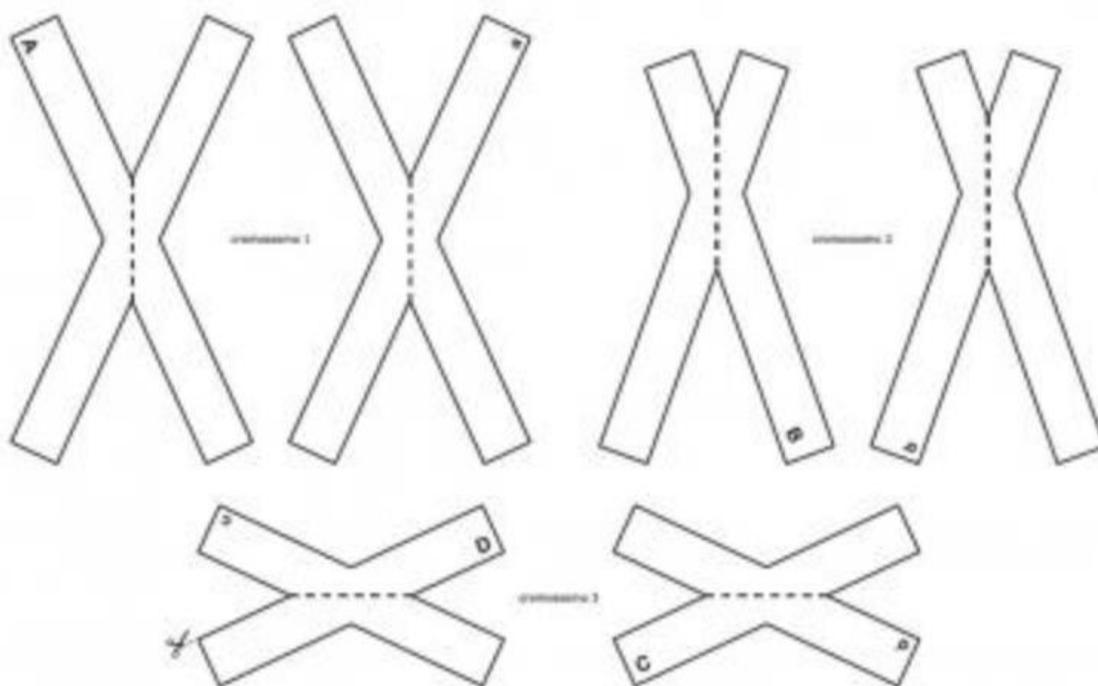
Observação: Estimule os alunos a fazerem outras perguntas ou registrarem curiosidades que tenham sobre as heranças genéticas.

Quarta aula: Dinâmica dos cromossomos (durante a fecundação)

Para melhor entendimento da dinâmica dos cromossomos dentro do núcleo celular e, também, como, os mesmos, são agrupados/organizados no momento da fecundação foi

pensado a confecção de um modelo de célula com 46 cromossomos, representando uma célula humana. Se necessário junte duas turmas para essa dinâmica.

Sugira que individualmente os educandos, de forma fictícia, sejam o material genético da célula, cada um representando um cromossomo. Para isso, o professor deverá entregar para os participantes modelos de cromossomos **não duplicados**, de três tamanhos diferentes, tomando o cuidado de entregar um cromossomo por aluno. Deve ser reproduzido em papel de cores diferentes, sugestão de três cores também. Veja abaixo:



Cromossomos da Prática Meiose no Papel

Escreva nos cromossomos letras para representa os alelos que podem ser dominantes ou recessivos, através de símbolos da genética, letras maiúsculas para dominância e minúsculas para recessivo, termine os pares de letras, como por exemplo, primeiro par aa, segundo Bb, terceiro CC e assim sucessivamente até completar os 23 pares. Desta forma, no final da prática, os cromossomos possam ser pareados por homologia, de tamanho, de cores e, também pelas letras (alelos), representado assim diferentes loci.

Para melhor organização e entendimento, os estudantes poderão ser conduzidos para a quadra da escola, onde farão a dinâmica da montagem dos cromossomos, em formato de uma grande célula humana. Para isso, deverá ser solicitada a participação dos

23 indivíduos do sexo masculino e dos 23 do sexo feminino, para representar o conjunto dos cromossomos homólogos de forma que os pares de homólogos se encontrem no centro da quadra para representar o material genético formado no núcleo celular. Oriente os alunos a procurarem os seus pares, começando pelas cores, depois os tamanhos e por fim pelas letras.

Aqueles alunos que não participaram da formação dos pares devem ser estimulados a observar e refletir essa atuação. Poderão ser também colaboradores na organização geral do núcleo da célula e na conferência e anotação do genótipo que essa célula formou.

Ao final da organização da dinâmica, o professor pode estimular os alunos a observar na célula representada: fecundação; cromossomos homólogos; alelos dominantes e recessivos; homocigoto dominante; homocigoto recessivo e heterocigoto.

Quinta, sexta e sétima aula: Aula prática Meiose no Papel

Após a familiarização com a estrutura, organização e componentes dos cromossomos, os educandos participarão de uma atividade para compreenderem o processo de divisão da célula, meiose, suas etapas e principais eventos ocorrente com os cromossomos neste processo. E, também, entenderem como a meiose está relacionada com a transmissão de características genéticas e como ocorre a modificação deste material no momento da formação de novos cromossomos. Favorecendo assim ao professor fazer uma conexão entre os eventos da meiose e a compreensão da genética mendeliana básica e, também, promover o entendimento de como acontece a formação de novas características ao longo das gerações.

Para isso, sugere-se que seja realizada uma atividade prática denominada “Meiose no Papel: Cromossomos e Segregação Independente”. Este modelo foi publicado por Diego Dayvison e Adlane Vilas-Boas nos portais pontociência e Portal do Professor (<http://portaldoprofessor.mec.gov.br/fichaTecnicaAula.html?aula=51679>)

Recomenda-se que essa atividade prática seja realizada em sala de aula, com duração média de três aulas, feita em grupos de até cinco (5) alunos e com o auxílio do professor. Ela traz uma visão de conceitos e interpretações sobre os conhecimentos de meiose e genética, tais como: modelos de cromossomos; representações de genes nos cromossomos; genótipo; fases da meiose e comportamento dos cromossomos antes da divisão meiótica; duplicação do material genético; formação das cromátides-irmãs;

conceito e importância da crossing-over; conceitos de cromossomos homólogos e de células haploides e formação dos gametas. Se necessário o professor pode orientar os alunos a pesquisarem aqueles conceitos que não sabem, durante cada etapa desta prática.

O objetivo principal da prática, no entanto, é relacionar a meiose com a formação dos gametas, demonstrando como a segregação independente dos cromossomos neste processo se relaciona com a segunda lei de Mendel. O estudante poderá, após a prática, não apenas entender o processo de divisão celular, mas também entender melhor o uso do quadro de Punnett para o cálculo de probabilidades em cruzamento.

Na mesma prática é possível que o aluno compreenda também a variabilidade genética que poderá ocorrer após a formação das quatro células filhas e das possíveis recombinações dos cromossomos. Isso fica claro para os alunos no momento de escolher apenas um conjunto de cromossomos para representar a fecundação, ampliando assim, a visão do aluno sobre o processo da meiose. Veja a prática abaixo. Retirado de (<http://portaldoprofessor.mec.gov.br/fichaTecnicaAula.html?aula=51679>)

Meiose no Papel

ROTEIRO DO ALUNO

Nessa prática você observará como os cromossomos se comportam na meiose e o que isso resulta em termos de diversidade de genótipos, relacionando a meiose com as leis de Mendel.

Parte I – Divisão meiótica

- 1) Você (ou o seu grupo) recebeu um envelope, que representa uma célula $2n$, contendo um conjunto de 6 cromossomos ($2n=6$). Os cromossomos sexuais não estão representados, o sexo do indivíduo doador da célula está escrito na parte externa do envelope. As cores diferentes representam a sua origem (paterna ou materna, ou seja, se esse indivíduo recebeu um determinado cromossomo de seu pai ou de sua mãe).
- 2) Observe que cada cromossomo apresenta letras; elas representam alguns locos gênicos da célula. Anote o genótipo do indivíduo que você recebeu.
- 3) Considere, agora, que esta célula iniciará seu processo de divisão, e faça um desenho esquemático de como os cromossomos se apresentam nesse momento anterior à divisão.
- 4) Antes de iniciar a divisão observe se os cromossomos já estão duplicados.
- 5) Faça a duplicação (ou replicação) do DNA abrindo os cromossomos. Como é chamada cada parte que aparece duplicada agora?
- 6) O que acontece com os genes em destaque nos braços dos cromossomos?

7) Os braços dos cromossomos que foram duplicados são idênticos aos que serviram de molde?

Evidencie a duplicação dos genes escrevendo seus nomes nas cromátides que acabaram de se formar.

8) Qual o evento mais importante nesta fase inicial (prófase I) da meiose para a geração de novos gametas? Por quê?

9) Pinte um círculo na região do centrômero.

10) Como se dá o *crossing-over* (ou seja, o que precisa acontecer primeiro com os cromossomos)?

11) Identifique os cromossomos homólogos. Forme três pares colocando-os um sobre o outro, emparelhados, formando tétrades, de acordo com os locos gênicos. Diferencie as cromátides irmãs das cromátides não-irmãs.

12) Agora que os cromossomos estão bem perto um dos outro os genes podem ser trocados. Faça isso cortando um pedaço que contenha letra em cada cromossomo e cole (no lugar onde estava o gene equivalente no outro cromossomo homólogo), utilizando fita adesiva. A troca tem que ser recíproca!

13) Discuta com seus colegas a importância do evento que vocês acabaram de completar.

14) Imagine que a célula tem um lado esquerdo e direito. Nessa primeira divisão meiótica, quem se separa de quem? O lado da célula para o qual cada cromossomo se desloca é influenciado por algo ou este é um processo aleatório?

15) Use uma moeda para decidir o destino dos cromossomos maternos e paternos. Escolha um dos cromossomos homólogos, materno ou paterno. Jogue a moeda. Se der cara, esse cromossomo vai para o lado direito. Se der coroa, para o lado esquerdo (e, obviamente, o contrário com o outro homólogo). Após terminar a segregação dos cromossomos em que fase a célula se encontra neste momento?

16) Agora, você tem duas células que precisam se dividir de novo para terminar a formação de gametas haploides. As duas cromátides ainda estão ligadas pelo centrômero. Corte os cromossomos ao meio e proceda à divisão usando a moeda novamente como no item anterior.

17) Observe os genes nas células finais haploides. Anote o genótipo de cada um dos gametas formados.

18) Discuta com seus colegas porque é inviável que um gameta apresente um número $2n$ de cromossomos.

Parte II - Fertilização

Na fertilização, dentre os vários gametas formados pelos indivíduos, dois gametas se encontram e podem formar um novo indivíduo por meio de um cruzamento.

1) Sorteie um dos 4 gametas formados para participar do cruzamento. Escolha um gameta formado por outro grupo (de sexo oposto) para que ocorra a fertilização.

2) Qual o genótipo do indivíduo que acabou de se formar? É diferente do genótipo dos pais?

Responda as questões abaixo:

1. Qual a principal função da meiose?
2. Qual a importância do *crossing-over*?
3. Quando os pares de cromossomos maternos e paternos se separam?
4. Qual parte da meiose é semelhante à mitose?
5. Qual a relação de segregação dos cromossomos com a segregação independente proposta por Mendel?

Oitava aula: aprofundando os conhecimentos sobre meiose e genética mendeliana

Para finalizar essa sequência didática sugere-se que seja trabalhado o texto “Genética e ambiente” publicado na revista Ciência Hoje de junho de 2005. Este texto aborda os temas relacionados com o nascimento da genética e os seus conceitos básicos, mas o aluno poderá concentrar a leitura no entendimento da meiose, na descoberta dos cromossomos e na genética mendeliana.

Sugira que a leitura individual do texto, primeiramente e, em seguida, organize os alunos em grupos de 3 a 5 membros, para discussão e elaboração de respostas das perguntas orientadoras ou motivadoras.

Perguntas para discussão:

1 - Através da leitura do texto como foi possível perceber a comprovação da teoria cromossômica?

2 - Afinal, o ambiente interfere na determinação da herança sexual das espécies?

3 - Como você descreve o conceito de meiose?

4 - Qual é a relação existente entre a meiose e a herança genética dos indivíduos?

O professor poderá ir além do questionário e solicitar que os alunos façam a elaboração de novas perguntas, criem hipóteses e conclusões sobre os assuntos abordados e que aprofundem o conhecimento sobre os seguintes termos presentes no texto: conceito de cromossomos; nascimento da genética; descoberta do cromossomo X; determinação

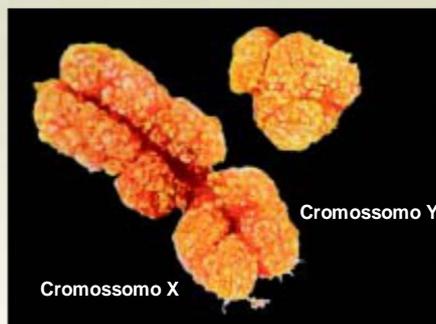
genética do sexo; conceito de meiose; entendimento histórico do nascimento da genética mendeliana, entre outros. Assim, é possível aprofundar no estudo destes conceitos e ao mesmo tempo dar margem para os alunos iniciarem novas discussões sobre temas importantes da genética básica.

Assim, ao término desta atividade é possível fazer uma conexão entre os eventos da meiose e a genética mendeliana e criar um ambiente de estudo para trabalhar melhor os demais temas da genética, podendo adaptar as futuras aulas a partes dessa prática ou apenas relembrar certas etapas com os alunos para esclarecer melhor outros conceitos. Veja o texto a seguir:

HÁ 100 ANOS ERA DESCOBERTO O PAPEL DO CROMOSSOMO X

Genética ou ambiente?

Os cromossomos – os ‘pacotes’ que acondicionam a longa molécula do ácido desoxirribonucléico, ou DNA, no núcleo das células – foram observados ainda no século 19, mas seu papel como responsáveis pela herança genética só veio a ser desvendado no início do século 20. Uma importante contribuição para isso foi a constatação, em 1905, de que uma característica marcante de diferentes seres vivos, como o sexo, estava associada ao cromossomo batizado como ‘X’. Essa e outras descobertas marcaram o início de um novo ramo da ciência – a genética, palavra inventada, por coincidência, também nesse ano.



O início do século 20 acolheu o desabrochar dos fundamentos da genética (ver ‘Uma palavra necessária’), com a redescoberta dos trabalhos sobre a hibridação de ervilhas, publicados em 1865 pelo monge austríaco Gregor Mendel (1822-1884), e a proposição da teoria de que os cromossomos seriam responsáveis pela herança genética, pelo médico norte-americano Walter Sutton (1877-1916) e pelo biólogo alemão Theodor Boveri (1862-1915). Essa teoria mostrava a relação entre o comportamento dos cromossomos no processo de formação de gametas e as leis mendelianas de herança.

A associação de uma característica marcante, como o sexo, com a presença de um determinado cromossomo foi um aliado importante na aceitação da teoria cromossômica da herança. Mas esse não foi um trajeto simples. Afinal, seria o sexo determinado geneticamente? A meta científica é esta-belecer uma lei geral e universal. E esse foi um dos empecilhos para a aceitação da idéia de determinação genética do sexo. Vários pesquisadores colecionavam evidências da influência ambiental na geração de fêmeas e machos em diversos organismos. Hoje, sabe-se que, em certas espécies animais, como tartarugas, o sexo é determinado por fatores ambientais.

O citologista norte-americano Clarence E. Mc-Clung (1870-1946) foi o primeiro a associar, em 1902, a herança de um cromossomo extra com a determinação do sexo masculino em insetos, em-bora tenha analisado apenas a formação de esper-

Há 100 anos

MEMÓRIA

Uma palavra necessária

Aprendemos que a genética começou quando três botânicos, o holandês Hugo de Vries (1848-1935), o alemão Carl Correns (1864-1933) e o austríaco Erich Tschermak von Seysenegg (1871-1962) descobriram o trabalho 'esquecido' de Gregor Mendel, em que este demonstrara, em ervilhas de quintal, que a herança de certas características era determinada por pares de fatores hereditários.

Com efeito, os experimentos de Mendel só começaram a ter amplos reflexos na comunidade científica a partir de 1900, quando redescobertos, independentemente, pelos três pesquisadores. Mas não é verdade que seu trabalho tenha sido inteiramente ignorado por tantos anos.

Mendel apresentou seus resultados em uma conferência em 1865, na Sociedade de História Natural de Brünn (hoje Brno, na República Tcheca), e os publicou em alemão no ano seguinte no *Proceedings of the Natural History Society of Brünn*. O trabalho foi enviado a 115 bibliotecas em vários países, inclusive para a Royal Society, no Reino Unido.

Seja como for, teria nascido nessa época um produto das ciências naturais que começou a atrair a curiosidade de alguns. O zoólogo britânico **William Bateson** (1861-1926) foi um deles, e isso aconteceu porque ele, tendo recebido de De Vries uma publicação com os experi-

mentos originais de cruzamentos feitos pelo abade de Brünn, a levou para ler durante uma viagem de trem de Cambridge para Londres, em 8 de maio de 1900. Conhecedor do idioma alemão, Bateson ficou extasiado com o que leu e, horas mais tarde, durante sua conferência na Royal Horticultural Society,

'*Problems of heredity as a subject for horticultural investigation*', referiu-se ao trabalho de Mendel e profetizou: "Uma determinação exata das leis da hereditariedade vai provavelmente provocar mais mudanças na perspectiva do homem no mundo e no seu poder sobre a natureza do que qualquer outro



matozóides (e nunca a de óvulos). Em 1891, o citologista alemão Hermann Henking (1858-1942) havia descrito esse cromossomo extra em células que sofriam meiose (divisão celular que gera células com apenas um conjunto de cromossomos, a partir de células que têm dois conjuntos cromossômicos, como as que constituem a maioria dos animais) para formar espermatozóides de insetos como um corpúsculo nuclear e o chamou de 'núcleo de cromatina', 'elemento cromático', 'corpúsculo de cromatina' ou simplesmente 'X'.

Henking não acreditava que o corpúsculo descrito fosse um cromossomo, devido à sua morfologia distinta, ao fato de não parear com outros cromossomos durante a meiose e de estar presente em apenas metade dos espermatozóides resultantes. Portanto, é de McClung o mérito de identificar o corpúsculo X como um cromossomo e de propor o papel desse cromossomo na determinação do sexo. Mas a hipótese de McClung previa a presença do cromossomo extra no sexo masculino, embora não houvesse qualquer evidência nesse sentido. Ele contava, talvez, com a propalada idéia da superioridade masculina – nesse caso, seria de se esperar que o macho dispusesse de maior quantidade de material genético. A importância do trabalho de McClung foi bem discutida no artigo 'McClung e a determinação do sexo:

do equívoco ao acerto', da bióloga Lilian A-C. P. Martins, publicado no periódico *História, Ciências, Saúde* (vol. 5, p. 235, 1999), do Instituto Manguinhos (RJ).

A questão foi esclarecida em 1905, quando os pesquisadores norte-americanos Edmund Beecher Wilson (1859-1939) e Nettie Maria Stevens (1861-1912) publicaram, respectivamente, os artigos 'Os cromossomos em relação à determinação do sexo em insetos' e 'Estudos na espermatogênese com referência especial ao cromossomo acessório'. Os dois autores, independentemente, explicaram a determinação do sexo pela presença de apenas um cromossomo X em machos e de dois cromossomos X em fêmeas. Wilson, cujo artigo já estava em processo de impressão quando recebeu o artigo de Stevens



progresso do conhecimento natural que pode ser previsto.”

Bateson tornou-se um defensor ardente do trabalho de Mendel, traduzindo-o para o Inglês, fator decisivo para sua eficiente divulgação. Logo, Bateson mostrou que, diferentemente do que Mendel afirmara, certas características hereditárias são governadas por mais de um gene.

Em 1905, ao candidatar-se a uma posição na Universidade de Cambridge, Bateson sugeriu o uso de uma nova palavra, 'genética', para significar o estudo da herança e variação. Ele escreveu: "Tal palavra é tão necessária que, se for aconselhável inventá-la, 'genética' cumpriria essa função." Ele não obteve a posição pretendida, mas foi recompensado em 1908 com a nova cadeira de genética des-

sa universidade. Bateson também publicou um conjunto de termos para descrever seus resultados de pesquisa, incluindo 'alelomorfo', 'zigoto', 'heterozigoto' e 'homozigoto'. A linguagem da genética estava nascendo.

Seus trabalhos influenciaram vários biólogos e pesquisadores, entre eles o britânico Archibald Garrod (1857-1936) e os norte-americanos Thomas H. Morgan (1866-1945) e Charles Davenport (1866-1944). Um fato curioso é que Bateson rejeitou e em aceitar a teoria cromossômica da herança (a visão dos cromossomos como controladores do desenvolvimento individual), convencendo-se de sua validade só em 1922, quatro anos antes de sua morte, quando visitou Morgan em seu laboratório na Universidade de Columbia.

Bateson ajudou a instituir a Cambridge Society of Genetics e participou em 1910 da fundação da prestigiosa revista *Genetics*, juntamente com o Inglês Reginald G. Punnett (1875-1967), seu colaborador e co-descobridor do fenômeno denominado *coupling* ou *gene linkage*, ou seja, a ligação entre genes no mesmo cromossomo. Essa ligação impede que esses genes se separem de modo independente, durante a reprodução do organismo, contrariando a segunda lei da hereditariedade (lei da segregação independente) proposta por Mendel.

Sérgio Cláudio Pinto da Costa
Instituto de Biociências,
Universidade de São Paulo

para análise, apoiou veementemente a publicação do outro trabalho. Por isso, ambos são considerados responsáveis pela teoria cromossômica de determinação do sexo.

Wilson e Stevens estabeleceram que algumas espécies têm um sistema do tipo XO (o macho tem um cromossomo a menos que a fêmea) e outras têm um sistema do tipo XY, no qual os cromossomos sexuais são morfológicamente diferentes. Verificou-se mais tarde, entre as aves, que a fêmea apresenta dois cromossomos sexuais diferentes (que foram chamados de ZW) e o macho tem dois cromossomos sexuais iguais (ZZ). Fica, pois, patente, que a determinação do sexo não é universal entre os seres vivos.

Em uma época em que a genética espinhava e a cytologia sofria limitações técnicas consideráveis,

foram muitas as dificuldades para o completo entendimento do papel dos cromossomos sexuais. Poucos anos depois, as evidências de herança de caracteres morfológicos ligados ao cromossomo sexual X consolidariam a teoria cromossômica da herança e da determinação do sexo.

Mas o cromossomo X continua revelando seus segredos. Na edição de 17 de março deste ano, a revista britânica *Nature*, um dos mais importantes periódicos científicos do mundo, trouxe dois artigos (e um comentário que os discute de maneira am-plá) com os resultados do sequenciamento do cromossomo X e a determinação de seu padrão de expressão gênica em homens e mulheres (ver 'O X da questão: estudos revelam detalhes sobre as propriedades do cromossomo sexual feminino',

em <http://cienciahoje.uol.com.br/controlPanel/materia/view/3271>), e 'O ponto X do sexo', em CH nº 215). Os dados obtidos com base nesses dois tipos de análise subsidiaram a elaboração de hipóteses de funções gênicas e história evolutiva, mas levantam questões como o significado da abundância de genes do cromossomo X (10% deles) expressos em testículos. Portanto, os cromossomos sexuais ainda mantêm algo de misterioso.

Mônica Bucciarelli Rodrigues

Instituto de Ciências Biológicas,
Universidade Federal de Minas Gerais



A redescoberta dos trabalhos de Gregor Mendel (A), no início do século 20, impulsionou os estudos sobre a hereditariedade, levando a hipóteses como a de que o material genético estaria contido nos cromossomos, descobertos pouco antes – o que foi comprovado a seguir, com os trabalhos de cientistas como Clarence McClung (B), Edmund Beecher Wilson (C)

e Nettie M. Stevens (D) sobre o papel do cromossomo X na determinação do sexo

Nona aula: Questionário final

Leia com muita atenção o texto abaixo para poder responder as questões que se seguem.

Pedro, um rapaz muito estudioso que estava concluindo o Ensino Médio, foi procurado por seus primos de primeiro grau Maria e João para que ele pudesse ajudá-los a esclarecer algumas dúvidas sobre genética, já que eles são casados e querem ter um filho.

O casal tinha as seguintes dúvidas:

- João tinha uma doença hereditária, chamada **fibrose cística (doença autossômica recessiva)** conhecida também como doença do beijo salgado, que pode ter sintomas diversos como: alterações glandulares; tosse; infecções pulmonares; incapacidade de ganhar peso; fezes gordurosas e outros, herdada do seu pai, Sr. Raimundo. Sua mãe, dona Joana, não apresentava essa doença;
- Eles não entendiam porque Felipe e Marcos, irmãos de João, eram saudáveis e só ele tinha a doença.
- Tampouco não entendia porque a mãe de Maria, Dona Lúcia, que era irmã do Sr. Raimundo também não tinha a doença. Eles não sabiam se alguns dos avós tinham a doença, pois haviam falecido muito cedo.
- Queriam saber como eram passadas as informações de pai para filho.
- Queriam saber se por serem primos o que isso poderia acarretar no futuro filho, ele poderia ter mais chance de ter a doença?

Levando em consideração as informações do texto e o seu conhecimento, responda as perguntas abaixo como se fosse o Pedro:

01 – Como as informações genéticas são passadas de pais para filhos?

02 - Através de que processo de divisão celular isso ocorre?

03 - Qual é o principal resultado desse processo de divisão celular?

04 – Usando letras, represente o genótipo do Sr. Raimundo, da dona Joana, do João, do Felipe e do Marcos.

APÊNDICE VI: ROTEIRO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ALUNO

Primeira aula: O que você sabe sobre genética?

1 – Ouça o áudio de um programa de rádio que o professor executará sobre genética básica. O áudio poderá ser repetido caso haja necessidade da turma para melhor compreender. Pode ser interessante você anotar algumas palavras que entendeu muito ou pouco.

2 - Agora que ouviu e entendeu o conteúdo do áudio, você terá 15 a 20 minutos para confeccionar um mapa mental sobre o assunto abordado. Você poderá fazer esse mapa através das seguintes sugestões: um desenho, um mapa conceitual ou mesmo escrever os conceitos chave que ouviu.

3 - O professor poderá solicitar que, espontaneamente, você compartilhe aquilo que fez com os colegas. Não se preocupe se está certo ou errado, o importante é compartilhar o que fez com os colegas e observar atentamente o que eles fizeram também.

Segunda aula: Compreensão básica da transferência e evolução do material genético

1 - Você deve desenhar um modelo de cromossomos que julga como certo, sem consultas a livros ou a internet. Para isso, você terá um tempo de 5 a 10 minutos.

2 - Agora você deve fazer uma comparação do que desenhou com outros modelos. Pegue os modelos com o professor e faça as devidas comparações.

3 - Pegue com o professor um modelo de cariótipo humano, com 23 pares de cromossomos homólogos, perceba as diferentes formas e tamanhos que representam os cromossomos. Você deve também ilustrar e recortar os cromossomos que recebeu de forma a representar a herança paterna e materna.

4 – Agora que terminou a confecção e comparação dos cromossomos, vocês deverão formar grupos de 3 a 5 alunos, para discutir a atividade que terminaram de fazer e iniciar uma introdução ao estudo da meiose e da genética mendeliana.

5 - Discutam e respondam às seguintes perguntas:

- a) Como ocorre a transferência de material genético de pais para filhos?
- b) Quando os pares de cromossomos paternos e maternos se separam?
- c) Como é possível filhos nascerem com características genéticas diferentes dos pais?

6- Ainda nos grupos, elaborem outras perguntas ou curiosidades que tenham sobre o estudo da meiose e da herança genética. Deixem tudo registrado nos seus cadernos.

Terceira aula: Dinâmica dos cromossomos (durante a fecundação)

1 - Para melhor entendimento da dinâmica dos cromossomos dentro do núcleo celular e, também como eles são agrupados/organizados no momento da fecundação você participará da confecção de um modelo de célula com 46 cromossomos, representando assim uma célula humana.

2 - De forma fictícia, alguns alunos, irão representar o material genético da célula. O professor entregará aos participantes modelos de cromossomos não duplicados, de três tamanhos diferentes, um por aluno participante, aguarde a orientação do professor.

3 - Foi solicitado a participação de 23 indivíduos do sexo masculino e de 23 do sexo feminino, para representar o conjunto dos cromossomos homólogos. Agora, vocês que receberam essa missão, devem ir ao centro da quadra para representar o material genético formado no núcleo celular.

5 - Vocês devem procurar os seus pares, começando pelas cores, depois pelo tamanho e por fim, observando os alelos (letras) presentes em cada cromossomo.

6 - Ao final da organização da dinâmica dos cromossomos, você deve anotar o que observou na formação do material genético da célula, principalmente: cromossomos homólogos; alelos dominantes e recessivos; homocigoto dominante; homocigoto recessivo e heterocigoto.

Quarta, quinta e sexta aula: Aula prática Meiose no Papel

1 - Agora que já se familiarizou com a estrutura, organização e componentes dos cromossomos, você participará de uma atividade para compreender o processo de divisão da célula, meiose, suas etapas e principais eventos ocorrentes com os cromossomos neste processo e, também, entender como a meiose está relacionada com a transmissão de características genéticas e como ocorre a modificação deste material no momento da formação de novos cromossomos.

2 - Você fará uma atividade prática denominada “Meiose no Papel: Cromossomos e Segregação Independente”. Essa atividade prática será realizada em sala de aula, durante três aulas, realizada em grupos de até cinco (5) alunos, com o auxílio do professor

e de material de pesquisa, se necessário. Solicite ao professor o roteiro da atividade prática.

Sétima aula: aprofundando os conhecimentos sobre meiose e genética mendeliana

1 - Para finalizar essa sequência didática você receberá o texto “Genética e ambiente” publicado na revista Ciência Hoje de junho de 2005.

2 - A leitura do texto deverá ser feita individualmente. Após terminar a leitura, organize-se em grupos de 3 a 5 alunos, para discutir e elaborar as respostas das perguntas abaixo.

Perguntas para discussão:

a) - Através da leitura do texto como foi possível perceber a comprovação da teoria cromossômica?

b) - Afinal, o ambiente interfere na determinação da herança sexual das espécies?

c) - Como você descreve o conceito de meiose?

d) - Qual é a relação existente entre a meiose e a herança genética dos indivíduos?

3 - Os grupos deverão fazer também a elaboração de novas perguntas. Crie com seu grupo hipóteses e conclusões sobre os diversos assuntos que leram no texto e sobre o que trabalharam nas aulas dessa sequência didática.

ANEXO I – PRÁTICA MEIOSE NO PAPEL

Meiose no Papel

ROTEIRO DO ALUNO

Nessa prática você observará como os cromossomos se comportam na meiose e o que isso resulta em termos de diversidade de genótipos, relacionando a meiose com as leis de Mendel.

Parte I – Divisão meiótica

1) Você (ou o seu grupo) recebeu um envelope, que representa uma célula $2n$, contendo um conjunto de 6 cromossomos ($2n=6$). Os cromossomos sexuais não estão representados, o sexo do indivíduo doador da célula está escrito na parte externa do envelope. As cores diferentes representam a sua origem (paterna ou materna, ou seja, se esse indivíduo recebeu um determinado cromossomo de seu pai ou de sua mãe).

2) Observe que cada cromossomo apresenta letras; elas representam alguns locos gênicos da célula. Anote o genótipo do indivíduo que você recebeu.

3) Considere, agora, que esta célula iniciará seu processo de divisão, e faça um desenho esquemático de como os cromossomos se apresentam nesse momento anterior à divisão.

4) Antes de iniciar a divisão observe se os cromossomos já estão duplicados.

5) Faça a duplicação (ou replicação) do DNA abrindo os cromossomos. Como é chamada cada parte que aparece duplicada agora?

6) O que acontece com os genes em destaque nos braços dos cromossomos?

7) Os braços dos cromossomos que foram duplicados são idênticos aos que serviram de molde?

Evidencie a duplicação dos genes escrevendo seus nomes nas cromátides que acabaram de se formar.

8) Qual o evento mais importante nesta fase inicial (prófase I) da meiose para a geração de novos gametas? Por quê?

9) Pinte um círculo na região do centrômero.

10) Como se dá o *crossing-over* (ou seja, o que precisa acontecer primeiro com os cromossomos)?

11) Identifique os cromossomos homólogos. Forme três pares colocando-os um sobre o outro, emparelhados, formando tétrades, de acordo com os locos gênicos. Diferencie as cromátides irmãs das cromátides não-irmãs.

12) Agora que os cromossomos estão bem perto um dos outro os genes podem ser trocados. Faça isso cortando um pedaço que contenha letra em cada cromossomo e cole

(no lugar onde estava o gene equivalente no outro cromossomo homólogo), utilizando fita adesiva. A troca tem que ser recíproca!

13) Discuta com seus colegas a importância do evento que vocês acabaram de completar.

14) Imagine que a célula tem um lado esquerdo e direito. Nessa primeira divisão meiótica, quem se separa de quem? O lado da célula para o qual cada cromossomo se desloca é influenciado por algo ou este é um processo aleatório?

15) Use uma moeda para decidir o destino dos cromossomos maternos e paternos. Escolha um dos cromossomos homólogos, materno ou paterno. Jogue a moeda. Se der cara, esse cromossomo vai para o lado direito. Se der coroa, para o lado esquerdo (e, obviamente, o contrário com o outro homólogo). Após terminar a segregação dos cromossomos em que fase a célula se encontra neste momento?

16) Agora, você tem duas células que precisam se dividir de novo para terminar a formação de gametas haploides. As duas cromátides ainda estão ligadas pelo centrômero. Corte os cromossomos ao meio e proceda à divisão usando a moeda novamente como no item anterior.

17) Observe os genes nas células finais haploides. Anote o genótipo de cada um dos gametas formados.

18) Discuta com seus colegas porque é inviável que um gameta apresente um número $2n$ de cromossomos.

Parte II - Fertilização

Na fertilização, dentre os vários gametas formados pelos indivíduos, dois gametas se encontram e podem formar um novo indivíduo por meio de um cruzamento.

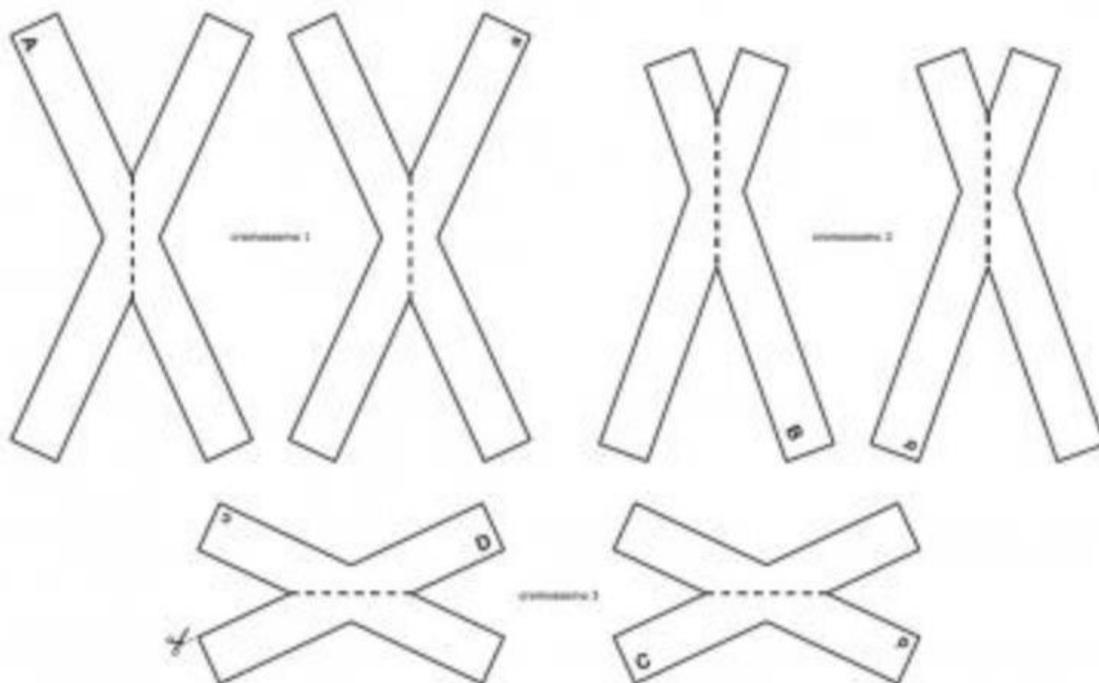
1) Sorteie um dos 4 gametas formados para participar do cruzamento. Escolha um gameta formado por outro grupo (de sexo oposto) para que ocorra a fertilização.

2) Qual o genótipo do indivíduo que acabou de se formar? É diferente do genótipo dos pais?

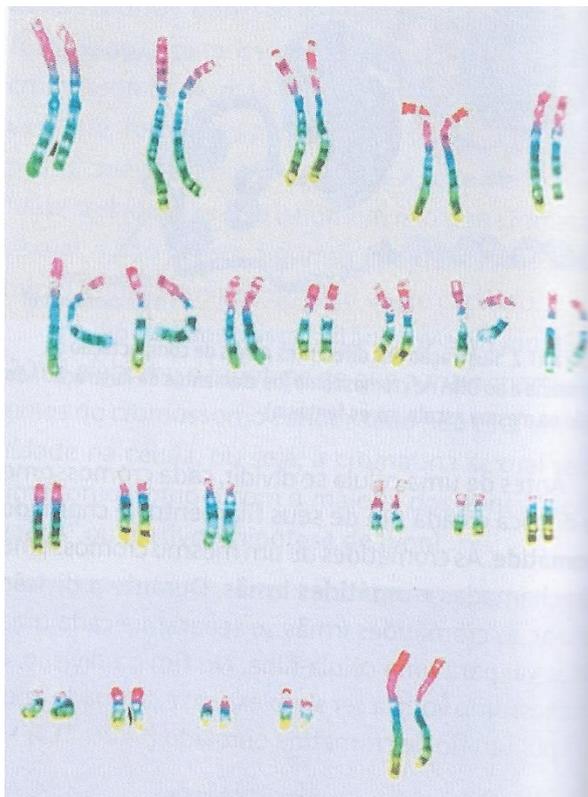
Responda as questões abaixo:

1. Qual a principal função da meiose?
2. Qual a importância do *crossing-over*?
3. Quando os pares de cromossomos maternos e paternos se separam?
4. Qual parte da meiose é semelhante à mitose?
5. Qual a relação de segregação dos cromossomos com a segregação independente proposta por Mendel?

Esta aula foi baseada no material Suporte ao Professor da Universidade Federal de Minas Gerais, 2009, uma prática das Profas. Adlane Vilas-Boas e Mônica Bucciarelli Rodriguez, do Departamento de Biologia Geral e modificada pela equipe do *pontociência*

ANEXO II – CROMOSSOMOS DA PRÁTICA MEIOSE NO PAPEL

Cromossomos da Prática Meiose no Papel

ANEXO III – MODELO DE CARIÓTIPO HUMANO

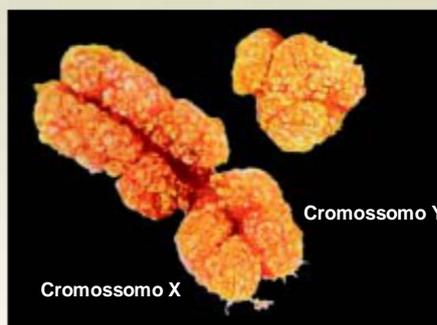
Modelo de cariótipo humano retirado do livro didático Biologia Hoje

ANEXO IV – TEXTO “GENÉTICA E AMBIENTE”

HÁ 100 ANOS ERA DESCOBERTO O PAPEL DO CROMOSSOMO X

Genética ou ambiente?

Os cromossomos – os ‘pacotes’ que condicionam a longa molécula do ácido desoxirribonucleico, ou DNA, no núcleo das células – foram observados ainda no século 19, mas seu papel como responsáveis pela herança genética só veio a ser desvendado no início do século 20. Uma importante contribuição para isso foi a constatação, em 1905, de que uma característica marcante de diferentes seres vivos, como o sexo, estava associada ao cromossomo batizado como ‘X’. Essa e outras descobertas marcaram o início de um novo ramo da ciência – a genética, palavra inventada, por coincidência, também nesse ano.



O início do século 20 acolheu o desabrochar dos fundamentos da genética (ver ‘Uma palavra necessária’), com a redescoberta dos trabalhos sobre a hibridação de ervilhas, publicados em 1865 pelo monge austríaco Gregor Mendel (1822-1884), e a proposição da teoria de que os cromossomos seriam responsáveis pela herança genética, pelo médico norte-americano Walter Sutton (1877-1916) e pelo biólogo alemão Theodor Boveri (1862-1915). Essa teoria mostrava a relação entre o comportamento dos cromossomos no processo de formação de gametas e as leis mendelianas de herança.

A associação de uma característica marcante, como o sexo, com a presença de um determinado cromossomo foi um aliado importante na aceitação da teoria cromossômica da herança. Mas esse não foi um trajeto simples. Afinal, seria o sexo determinado geneticamente? A meta científica é esta-belecer uma lei geral e universal. E esse foi um dos empecilhos para a aceitação da idéia de determinação genética do sexo. Vários pesquisadores colecionavam evidências da influência ambiental na geração de fêmeas e machos em diversos organismos. Hoje, sabe-se que, em certas espécies animais, como tartarugas, o sexo é determinado por fatores ambientais.

O citologista norte-americano Clarence E. McClung (1870-1946) foi o primeiro a associar, em 1902, a herança de um cromossomo extra com a determinação do sexo masculino em insetos, em-bora tenha analisado apenas a formação de esper-

MEMÓRIA

Uma palavra necessária

Aprendemos que a genética começou quando três botânicos, o holandês Hugo de Vries (1848-1935), o alemão Carl Correns (1864-1933) e o austríaco Erich Tschermak von Seysenegg (1871-1962) descobriram o trabalho 'esquecido' de Gregor Mendel, em que este demonstrara, em ervilhas de quintal, que a herança de certas características era determinada por pares de fatores hereditários.

Com efeito, os experimentos de Mendel só começaram a ter amplos reflexos na comunidade científica a partir de 1900, quando redescobertos, independentemente, pelos três pesquisadores. Mas não é verdade que seu trabalho tenha sido inteiramente ignorado por tantos anos.

Mendel apresentou seus resultados em uma conferência em 1865, na Sociedade de História Natural de Brünn (hoje Brno, na República Tcheca), e os publicou em alemão no ano seguinte no *Proceedings of the Natural History Society of Brünn*. O trabalho foi enviado a 115 bibliotecas em vários países, inclusive para a Royal Society, no Reino Unido.

Seja como for, teria nascido nessa época um produto das ciências naturais que começou a atrair a curiosidade de alguns. O zoólogo britânico **William Bateson** (1861-1926) foi um deles, e isso aconteceu porque ele, tendo recebido de De Vries uma publicação com os experi-

mentos originais de cruzamentos feitos pelo abade de Brünn, a levou para ler durante uma viagem de trem de Cambridge para Londres, em 8 de maio de 1900. Conhecedor do idioma alemão, Bateson ficou extasiado com o que leu e, horas mais tarde, durante sua conferência na Royal Horticultural Society,

'*Problems of heredity as a subject for horticultural investigation*', referiu-se ao trabalho de Mendel e profetizou: "Uma determinação exata das leis da hereditariedade vai provavelmente provocar mais mudanças na perspectiva do homem no mundo e no seu poder sobre a natureza do que qualquer outro



matozóides (e nunca a de óvulos). Em 1891, o citologista alemão Hermann Henking (1858-1942) havia descrito esse cromossomo extra em células que sofriam meiose (divisão celular que gera células com apenas um conjunto de cromossomos, a partir de células que têm dois conjuntos cromossômicos, como as que constituem a maioria dos animais) para formar espermatozóides de insetos como um corpúsculo nuclear e o chamou de 'núcleo de cromatina', 'elemento cromático', 'corpúsculo de cromatina' ou simplesmente 'X'.

Henking não acreditava que o corpúsculo descrito fosse um cromossomo, devido à sua morfologia distinta, ao fato de não parrear com outros cromossomos durante a meiose e de estar presente em apenas metade dos espermatozóides resultantes. Portanto, é de McClung o mérito de identificar o corpúsculo X como um cromossomo e de propor o papel desse cromossomo na determinação do sexo. Mas a hipótese de McClung previa a presença do cromossomo extra no sexo masculino, embora não houvesse qualquer evidência nesse sentido. Ele contava, talvez, com a propalada idéia da superioridade masculina – nesse caso, seria de se esperar que o macho dispusesse de maior quantidade de material genético. A importância do trabalho de McClung foi bem discutida no artigo 'McClung e a determinação do sexo:

do equívoco ao acerto', da bióloga Lillian A-C. P. Martins, publicado no periódico *História, Ciências, Saúde* (vol. 5, p. 235, 1999), do Instituto Manguinhos (RJ).

A questão foi esclarecida em 1905, quando os pesquisadores norte-americanos Edmund Beecher Wilson (1859-1939) e Nettie Maria Stevens (1861-1912) publicaram, respectivamente, os artigos 'Os cromossomos em relação à determinação do sexo em insetos' e 'Estudos na espermatogênese com referência especial ao cromossomo acessório'. Os dois autores, independentemente, explicaram a determinação do sexo pela presença de apenas um cromossomo X em machos e de dois cromossomos X em fêmeas. Wilson, cujo artigo já estava em processo de impressão quando recebeu o artigo de Stevens



progresso do conhecimento natural que pode ser previsto."

Bateson tornou-se um defensor ardente do trabalho de Mendel, traduzindo-o para o inglês, fator decisivo para sua eficiente divulgação. Logo, Bateson mostrou que, diferentemente do que Mendel afirmara, certas características hereditárias são governadas por mais de um gene.

Em 1905, ao candidatar-se a uma posição na Universidade de Cambridge, Bateson sugeriu o uso de uma nova palavra, 'genética', para significar o estudo da herança e variação. Ele escreveu: "Tal palavra é tão necessária que, se for aconselhável inventá-la, 'genética' cumpriria essa função." Ele não obteve a posição pretendida, mas foi recompensado em 1908 com a nova cadeira de genética des-

sa universidade. Bateson também publicou um conjunto de termos para descrever seus resultados de pesquisa, incluindo 'alelomorfo', 'zigoto', 'heterozigoto' e 'homozigoto'. A linguagem da genética estava nascendo.

Seus trabalhos influenciaram vários biólogos e pesquisadores, entre eles o britânico Archibald Garrod (1857-1936) e os norte-americanos Thomas H. Morgan (1866-1945) e Charles Davenport (1866-1944). Um fato curioso é que Bateson rejeitou em aceitar a teoria cromossômica da herança (a visão dos cromossomos como controladores do desenvolvimento individual), convencendo-se de sua validade só em 1922, quatro anos antes de sua morte, quando visitou Morgan em seu laboratório na Universidade de Colúmbia.

Bateson ajudou a instituir a Cambridge Society of Genetics e participou em 1910 da fundação da prestigiosa revista *Genetics*, juntamente com o inglês Reginald G. Punnett (1875-1967), seu colaborador e co-descobridor do fenômeno denominado *coupling* ou *gene linkage*, ou seja, a ligação entre genes no mesmo cromossomo. Essa ligação impede que esses genes se separem de modo independente, durante a reprodução do organismo, contrariando a segunda lei da hereditariedade (lei da segregação independente) proposta por Mendel.

Sérgio Olavo Pinto da Costa
Instituto de Biociências,
Universidade de São Paulo

para análise, apoiou veementemente a publicação do outro trabalho. Por isso, ambos são considerados responsáveis pela teoria cromossômica de determinação de sexo.

Wilson e Stevens estabeleceram que algumas espécies têm um sistema do tipo XO (o macho tem um cromossomo a menos que a fêmea) e outras têm um sistema do tipo XY, no qual os cromossomos sexuais são morfologicamente diferentes. Verificou-se mais tarde, entre as aves, que a fêmea apresenta dois cromossomos sexuais diferentes (que foram chamados de ZW) e o macho tem dois cromossomos sexuais iguais (ZZ). Fica, pois, patente, que a determinação de sexo não é universal entre os seres vivos.

Em uma época em que a genética angustinhava e a citologia sofria limitações técnicas consideráveis,

foram muitas as dificuldades para o completo entendimento do papel dos cromossomos sexuais. Poucos anos depois, as evidências de herança de caracteres morfológicos ligada ao cromossomo sexual X consolidariam a teoria cromossômica da herança e da determinação de sexo.

Mas o cromossomo X continua revelando seus segredos. Na edição de 17 de março deste ano, a revista britânica *Nature*, um dos mais importantes periódicos científicos do mundo, trouxe dois artigos (e um comentário que os discute de maneira sucinta) com os resultados do sequenciamento do cromossomo X e a determinação de seu padrão de expressão gênica em homens e mulheres (ver 'O X da questão: estudos revelam detalhes sobre as propriedades do cromossomo sexual feminino',

em <http://cienciahoje.uol.com.br/controlPanel/materia/view/3271>), e 'O ponto X do sexo', em CH nº 215). Os dados obtidos com base nesses dois tipos de análise subsidiaram a elaboração de hipóteses de funções gênicas e história evolutiva, mas levantam questões como o significado da abundância de genes do cromossomo X (10% deles) expressos em tecidos. Portanto, os cromossomos sexuais ainda mantêm algo de misterioso.

Mônica Bucciarelli Rodriguez

Instituto de Ciências Biológicas,
Universidade Federal de Minas Gerais

D



A redescoberta dos trabalhos de Gregor Mendel (A), no início do século 20, impulsionou os estudos sobre a hereditariedade, levando a hipóteses como a de que o material genético estaria contido nos cromossomos, descobertos pouco antes – o que foi comprovado a seguir, com os trabalhos de cientistas como Clarence McClung (B), Edmund Beecher Wilson (C)

e Nettie M. Stevens (D) sobre o papel do cromossomo X na determinação do sexo