

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA GERAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GENÉTICA

Lorrayne Evangelista de Sousa

**USO DE UM INVENTÁRIO CONCEITUAL DE MEIOSE PARA ANALISAR
DIFICULDADES PERSISTENTES NA COMPREENSÃO DE CONCEITOS ENTRE
CALOUROS E FUTUROS PROFESSORES DE BIOLOGIA**

Belo Horizonte

2021

Lorrayne Evangelista de Sousa

**USO DE UM INVENTÁRIO CONCEITUAL DE MEIOSE PARA ANALISAR
DIFICULDADES PERSISTENTES NA COMPREENSÃO DE CONCEITOS ENTRE
CALOUROS E FUTUROS PROFESSORES DE BIOLOGIA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Genética da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Genética.

Orientadora: Profa. Dra. Adlane Vilas-Boas
Ferreira

Coorientadora: Profa. Dra. Marina de Lima
Tavares

Belo Horizonte

2021

043

Sousa, Lorryne Evangelista de.

Uso de um inventário conceitual de meiose para analisar dificuldades persistentes na compreensão de conceitos entre calouros e futuros professores de biologia [manuscrito] / Lorryne Evangelista de Sousa. – 2021.

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

Orientadora: Profa. Dra. Adlane Vilas-Boas Ferreira. Coorientadora: Profa. Dra. Marina de Lima Tavares.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Ciências Biológicas. Programa de Pós-Graduação em Genética.

1. Genética. 2. Ensino. 3. Aprendizagem. 4. Meiose. I. Ferreira, Adlane Vilas-Boas. II. Tavares, Marina de Lima. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Ciências Biológicas. IV. Título

CDU: 575



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Instituto de Ciências Biológicas
Programa de Pós-Graduação em Genética

FOLHA DE APROVAÇÃO

"Uso de um inventário conceitual de meiose para analisar dificuldades persistentes na compreensão de conceitos entre calouros e futuros professores de biologia"

Lorryne Evangelista de Sousa

Dissertação aprovada pela banca examinadora constituída pelos Professores:

Adlane Vilas-Boas Ferreira
UFMG

Francisco Pereira Lobo
UFMG

Ana Júlia Lemos Alves Pedreira
UnB

Belo Horizonte, 17 de dezembro de 2021.



Documento assinado eletronicamente por **Adlane Vilas Boas Ferreira, Professora do Magistério Superior**, em 17/12/2021, às 12:09, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ana Júlia Lemos Alves Pedreira, Usuário Externo**, em 17/12/2021, às 17:44, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Francisco Pereira Lobo, Professor do Magistério Superior**, em 22/12/2021, às 12:59, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1151020** e o código CRC **A1A741EC**.

Dedico este trabalho à minha mãe, Cláudia, a quem devo tudo que fiz e que sou.

AGRADECIMENTOS

Às professoras Adlane Vilas-Boas e Marina Tavares pelos ensinamentos, incentivo e pela orientação em cada etapa do mestrado, o que foi indispensável para que este projeto fosse conduzido na direção correta.

À equipe do projeto “Ensino de Genética, Conceitos e Aprendizagem”, pelas discussões e conhecimentos compartilhados, que certamente contribuíram para minha formação docente.

Aos estudantes de graduação em Ciências Biológicas da UFMG pela participação e boa vontade em colaborar com este estudo.

À professora Ana Júlia Lemos Alves Pedreira e ao professor Francisco Pereira Lobo, membros da banca, pelas sugestões úteis e pelo olhar cuidadoso sobre o trabalho.

À CAPES pela concessão da bolsa, que permitiu a realização deste projeto de pesquisa e minha dedicação aos estudos.

À professora Lúcia Maria Pôrto de Paula do Colégio Técnico da UFMG, cujo trabalho docente me motivou e inspirou.

Aos colegas de pós-graduação pelos momentos de escuta e ajuda.

Sou especialmente grata à minha mãe, Cláudia, pelo encorajamento e paciência, e à minha irmã, Rayssa, e meu pai, Ottamar, pelo auxílio em todo meu percurso.

Finalmente, gostaria de agradecer a quatro pessoas especiais pelo carinho e cumplicidade, Ana Carolina, Bianca Araújo, Jéssica Giori e Rafaella Soares, as guardarei para sempre em meu coração.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	A importância do estudo da Genética.....	14
1.2	Por que a Genética pode ser difícil de aprender?	16
1.3	O Ensino em Genética e a meiose	18
1.4	Concepções equivocadas: significado e origem	21
1.5	Como identificar concepções equivocadas?	25
1.6	Inventários Conceituais	26
1.7	Inventário Conceitual de Meiose (ICM).....	30
1.8	Justificativa.....	34
2	OBJETIVOS.....	36
3	METODOLOGIA	37
3.1.	Participantes da pesquisa.....	37
3.2.	A meiose no currículo.....	38
3.3.	Instrumento de Coleta de Dados.....	42
3.4.	Aplicação do instrumento	45
3.5.	Análise quantitativa	45
3.5.1.	Regra de pontuação.....	45
3.5.2.	Distribuição de respostas por item.....	46
3.5.3.	Análise estatística	46
3.5.4.	Distribuição de respostas e categorização.....	47
3.6.	Entrevistas cognitivas	47
3.7.	Análise de conteúdo.....	51
3.8.	Considerações éticas.....	52
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
4.1	Desempenho Geral	53
4.2	Comparação de desempenho em cada item	54
4.3	Categorização e identificação concepções equivocadas mais comuns (CEMC).....	55
4.4	Frequência de seleção das CEMC em itens da categoria II.....	59
4.5	Análise das concepções equivocadas mais comuns	59
4.5.1.	Itens de mais baixo índice de aproveitamento.....	60
4.5.2.	Itens com uma Concepção Equivocada Mais Comum.....	61
4.5.3.	Itens com bom índice de aproveitamento.....	63

4.6 Entrevistas Cognitivas	67
5 CONCLUSÃO	88
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	90
APÊNDICE A: Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (on-line).....	96
ANEXO A - Documento aprovação CEP.....	97
ANEXO B - Inventário Conceitual de Meiose (adaptado de Kalas et al., 2013).....	102
ANEXO C - Roteiro de Entrevista	107

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Processo de desenvolvimento de inventários conceituais	29
Figura 2: Taxonomia de Bloom	32
Figura 3: Distribuição das pontuações individuais obtidas no ICM pelos calouros e veteranos.	54
Figura 4: Frequência de calouros respondendo uma CEMC.	59
Figura 5: Frequência de veteranos respondendo uma CEMC.....	59
Figura 6: Desempenho dos calouros e veteranos nos itens selecionados do ICM.	60
Figura 7: Distribuição de respostas dos itens 1, 2, 3, 5 e 12 entre os calouros e veteranos. ...	65
Figura 8: Concepção equivocada do estudante E6 no item 12.....	85

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Taxonomia de Bloom do domínio cognitivo	33
Quadro 2: Livros mais utilizados pelas escolas públicas do Estado de Minas Gerais.....	40
Quadro 3: Caracterização dos itens selecionados do ICM.....	44
Quadro 4: Quadro de entrevistas.....	49
Quadro 5: Categorização dos itens baseada na distribuição de respostas.....	55
Quadro 6: Agrupamento de itens do ICM em três categorias diferentes com base na distribuição de respostas obtidas entre os calouros	57
Quadro 7: Agrupamento de itens do ICM em três categorias diferentes com base na distribuição das respostas obtidas entre os veteranos.....	58
Quadro 8: Categorização de concepções equivocadas identificadas nas entrevistas. Categoria 1: disposição de alelos gênicos.....	70
Quadro 9: Categorização de concepções equivocadas identificadas nas entrevistas. Categoria 2: estrutura dos cromossomos.	75
Quadro 10: Categorização de concepções equivocadas identificadas nas entrevistas. Categoria 3: replicação do DNA.	79
Quadro 11: Categorização de concepções equivocadas identificadas nas entrevistas. Categoria 4: resultados da meiose.	82

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BNCC	Base Nacional Comum Curricular
CBCs	Conteúdos básicos comuns
CEMC	Concepção equivocada mais comum
CEP UFMG	Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais
DNA	Ácido Desoxirribonucleico
IC	Inventário Conceitual
ICM	Inventário Conceitual de Meiose
PCN-EM	Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio
TCLE	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais

RESUMO

A meiose é um tópico persistentemente difícil para estudantes de diferentes níveis de ensino. O objetivo deste trabalho é, por meio da utilização de um inventário de conceitos e entrevistas, quantificar e comparar o desempenho de calouros e veteranos sobre os seguintes conceitos genéticos associados à meiose: ploidia; relação entre quantidade de DNA, número de cromossomos e ploidia; cronologia dos principais eventos da meiose; e representação pictórica dos cromossomos; bem como compreender a natureza das dificuldades encontradas na compreensão de conceitos. Este estudo foi conduzido com dois grupos de estudantes do curso de Ciências Biológicas da UFMG: 25 calouros e 45 veteranos (licenciandos). A pesquisa foi iniciada com a aplicação de um inventário conceitual de meiose (ICM), cujos itens abordavam conceitos problemáticos da meiose já documentados na literatura. Na etapa qualitativa, foram conduzidas entrevistas cognitivas com estudantes voluntários (n=12) sobre itens do ICM. Os resultados da aplicação do ICM foram categorizados para identificar conceitos não problemáticos e ideias incorretas comuns. Interessantemente, diferença de desempenho geral entre os calouros e os veteranos foi insignificante. Para quase todos os conceitos avaliados, as respostas dos estudantes aos itens tiveram uma distribuição de distratores assinalados ampla ou os estudantes demonstraram preferência por distratores específicos. Apenas dois itens tiveram uma alta proporção de respostas corretas ($\cong 70\%$). O conceito de maior dificuldade de compreensão identificado em ambos os grupos foi o de ploidia, além de outras dificuldades conceituais, como sobre a diferença entre cromossomos e cromátides, produtos da mitose e meiose e a pouca articulação entre a replicação do DNA e a meiose. Na etapa de entrevistas, concepções equivocadas identificadas na etapa quantitativa foram confirmadas e novos entendimentos incorretos foram identificados, como a respeito da disposição dos alelos gênicos nos cromossomos, a interferência da replicação do DNA sobre o número de cromossomos e ploidia celular, a representação dos gametas e a estrutura dos cromossomos. Conclui-se que calouros e veteranos mantêm concepções equivocadas sobre conceitos elementares relacionados à meiose. Tais concepções tendem a ser resistentes ao ensino e constituem um obstáculo ao entendimento significativo desse processo de divisão celular.

Palavras-chave: Ensino de Genética. Meiose. Concepções Equivocadas. Aprendizagem Conceitual. Licenciandos em Ciências Biológicas.

ABSTRACT

Meiosis is a persistently difficult topic for students at different levels of education. The objective of this work is, through the use of an inventory of concepts and interviews, to quantify and compare the performance of tested freshmen and veterans on the following genetic concepts associated with meiosis: ploidy; relationship between amount of DNA, number of chromosomes and ploidy; chronology of the main events of meiosis; and pictorial representation of chromosomes; as well as understanding the nature of the difficulties encountered in understanding concepts. This study was conducted with two groups of students from the Biological Sciences course at UFMG: 25 freshmen and 45 veterans (prospective teachers). The research started with the application of a Meiosis Concept Inventory (MCI), whose items addressed problematic concepts of meiosis already documented in the literature. In the qualitative stage, cognitive interviews were conducted with volunteer students ($n=12$) about selected MCI items. Data collection was performed remotely. The results from the MCI application were categorized to identify non-problematic concepts and common misconceptions. Interestingly, the overall performance between the freshmen and veterans was insignificant. For almost all evaluated concepts, student responses to items had a wide distribution of assigned distractors or students showed preference for specific distractors. Only two items had a high proportion of correct answers ($\cong 70\%$). The most difficult concept of understanding identified in both groups was ploidy, in addition to other conceptual difficulties, such as the difference between chromosomes and chromatids, products of mitosis and meiosis, and the poor articulation between DNA replication and meiosis. In the interview stage, misconceptions identified in the quantitative stage were confirmed and new misunderstandings were identified, such as regarding the arrangement of gene alleles on chromosomes, the interference of DNA replication on the number of chromosomes and cell ploidy, the representation of gametes and the structure of chromosomes. It is concluded that freshmen and veterans hold misconceptions about elementary concepts related to meiosis. Such conceptions tend to be resistant to teaching and constitute an obstacle to a meaningful understanding of meiosis.

Keywords: Teaching Genetics. Meiosis. Misconceptions. Conceptual Learning. Prospective Biology Teachers.

1 INTRODUÇÃO

A escolha do tema desta dissertação se deu sob significativa influência da minha trajetória acadêmica na Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e escolha profissional. Ao longo da minha formação estive imersa nas áreas de Ensino e Extensão, momentos nos quais se intensificaram a minha vontade de lecionar e pesquisar sobre processos de ensino e aprendizagem. Posso citar, por exemplo, a experiência que tive a oportunidade de vivenciar como Educadora Ambiental no Museu de História Natural e Jardim Botânico (MHNJB) da UFMG, primeiro contato com o ensino não formal, o qual despertou o meu desejo em atuar na área da Educação. No MHNJB me envolvi em projetos de extensão sobre sexualidade em escolas do ensino básico público, projetos de educação para conservação da natureza com estudantes de diferentes idades, como o projeto “Nas Trilhas do Jardim Botânico”, dentre outros programas que abordam a percepção ambiental e saúde humana destinados ao público escolar e espontâneo.

Tempos depois, uma experiência importante traçou o meu destino até aqui. No programa de monitoria do Colégio Técnico da UFMG, participei de um projeto de ensino denominado “Nós, o mundo e a Genética”. Realizei tutorias especialmente sobre temas da Genética e Evolução Biológica, além do desenvolvimento e aplicação de materiais didáticos distintos sobre conteúdos abordados em sala de aula. Nesta etapa, durante a correção de estudos dirigidos, provas e ao assistir e participar ativamente das aulas ministradas pela professora de Biologia da instituição, identifiquei alguns entendimentos incorretos compartilhados por um número considerável de estudantes, especialmente sobre o tema divisão celular. Foi nesta etapa que comecei a buscar na literatura trabalhos que abordavam concepções equivocadas e artigos sobre ensino e aprendizagem. Começou a surgir, então, a vontade de desenvolver pesquisas na área de ensino em Genética.

Felizmente, por intermédio da professora Mônica Bucciarelli da UFMG, que ministrava uma disciplina de Genética na época, conheci um pós-graduando que desenvolvia pesquisas sobre erros conceituais sobre Genética entre estudantes. Ainda trabalhando como monitora de

Biologia no COLTEC, procurei a minha atual orientadora, professora Adlane Vilas-Boas, e me foi apresentado um projeto nomeado “Projeto Ensino de Genética, conceitos e aprendizagem”, o qual foi o pontapé para que eu iniciasse a minha preparação para ingressar no Programa de Pós-graduação (PPG) em Genética da UFMG.

O “Projeto Ensino de Genética, conceitos e aprendizagem” visa entender a formação de conceitos de genética no ensino formal e não-formal. Os estudos se dão no ensino superior e no ensino básico e engloba projetos de mestrado sobre temas relacionados em diferentes contextos. A equipe é composta por estudantes e professores do PPG em Genética da UFMG e do PROFBIO, além de estudantes de graduação em Ciências Biológicas. Dentro desse projeto, além da pesquisa de mestrado em si, me envolvi em outras atividades importantes para minha formação, como oficinas destinadas a professores do ensino básico público do Brasil sobre temas e metodologias de ensino sobre Genética e Evolução.

Ainda no mestrado dei início à minha atuação como professora no ensino básico, decisão que contribuiu para condução deste projeto, sobretudo nos momentos de estudo individual, interpretação e discussão dos resultados encontrados. Enfim, todas essas vivências influenciaram minha escolha em desenvolver durante o mestrado um projeto que visa identificar e compreender a natureza das dificuldades encontradas entre estudantes sobre conceitos genéticos.

1.1 A importância do estudo da Genética

A Genética tem se destacado pelos inúmeros avanços, que têm introduzido novos conceitos e ressignificado conceitos chave para o entendimento dos processos biológicos. Ademais, realizações científicas desse campo têm auxiliado no enfrentamento de desafios econômicos, ambientais e sociais, como as pesquisas genômicas (desenvolvimento de fármacos, vacinas, edição genômica, etc), Genética aplicada à saúde pública (estudos de doenças crônicas, como o câncer, novas drogas terapêuticas, kits para diagnóstico), Genética aplicada à indústria

(melhoramento genético vegetal e animal, possibilitando a inserção de novas características para fins comerciais), e outros temas que não se esgotam aqui (CEZAR et al., 2020). O ritmo das descobertas genéticas ressalta a importância de se aumentar a proporção de cidadãos com conhecimentos suficientes para compreender esses avanços e fazer uso das informações e tecnologias em decisões individuais e coletivas.

Além da Genética estar presente em vários aspectos da existência humana, as fontes de informação desse campo, somada à divulgação no meio acadêmico-científico, tem sido alvo da mídia, a qual tem demonstrado um especial interesse pelo assunto. Dessa forma, o letramento científico que, segundo a Base Nacional Comum Curricular (BNCC), “envolve a capacidade de compreender e interpretar o mundo (natural, social e tecnológico) e de transformá-lo com base nos aportes teóricos e processuais das ciências” (BRASIL, 2018, p. 321), se torna essencial para que o indivíduo possa exercer a sua cidadania e se posicionar criticamente quanto a conteúdos difundidos por meios não científicos, como jornais, sites, séries televisivas, cujas ideias nem sempre são divulgadas corretamente (LANIE et al., 2004).

Segundo Krasilchik (1983), “espera-se que, ao concluir o ensino médio, o estudante esteja alfabetizado e, portanto, além de compreender os conceitos básicos da disciplina, seja capaz de pensar independentemente, adquirir e avaliar informações”. Contudo, entendimentos peculiares sobre determinados conceitos que contrariam conhecimentos cientificamente comprovados podem dificultar a construção continuada do conhecimento genético que transcenda a etapa escolar, como compreensão de novos saberes e suas aplicações e a discriminação de conteúdos válidos disseminados por meios não científicos.

Confusões sobre conceitos genéticos são comuns entre o público geral, o que sugere a necessidade do aprimoramento na alfabetização científica dessa área (LANIE et al., 2004). Também, é reconhecido que estudantes de diversos países asseguram concepções equivocadas sobre conceitos genéticos desde a educação básica (BELMIRO; DINIZ; BARROS, 2017; CHU; REID, 2012) ao ensino superior (KALAS et al., 2013; SMITH; KNIGHT, 2012), as quais se perpetuam mesmo após a instrução formal (INFANTE-MALACHIAS et al., 2010).

Dada a importância da Genética e sua inerente complexidade, é necessário investir em estudos que tenham como objetivo investigar a situação dos jovens egressos do ensino básico no que se refere ao entendimento da Genética elementar, a qual é essencial à compreensão de conteúdos mais complexos que, eventualmente, os estudantes terão contato ao longo da vida. Ainda, nem todos os estudantes irão ingressar em um curso superior de biologia ou outra área da saúde, daí a importância de pesquisar dificuldades persistentes ao fim da etapa final da escolarização obrigatória. Somente assim será possível traçar objetivos de ensino que atendam às necessidades conceituais identificadas no ensino básico.

De forma complementar, trabalhos com estudantes no nível superior, sobretudo entre futuros professores, são imprescindíveis, uma vez que esses profissionais são os responsáveis por favorecer o processo de aprendizagem entre os seus estudantes. Professores com dificuldades em princípios básicos da Genética possivelmente terão dificuldade para continuar se atualizando, se apropriando de conceitos novos e ter a segurança de ensiná-los em sala de aula.

1.2 Por que a Genética pode ser difícil de aprender?

O processo de aprendizagem de conceitos genéticos pode ser dificultado por ser uma área que requer do estudante transitar por quatro níveis de organização biológica: o nível macroscópico, que compreende o fenótipo, o nível microscópico e sub-microscópico, que compreendem as células, os cromossomos, o DNA, os genes e assim por diante, e o nível simbólico ou representacional, que são os genótipos, os esquemas e os números. Portanto, a natureza complexa da Genética pode resultar em uma sobrecarga mental para o estudante ao ter que raciocinar a respeito de conceitos e processos que estão em diferentes níveis de organização biológica simultaneamente (CHU; REID, 2012; TSUI; TREAGUST, 2010).

Outra possível fonte de dificuldade são os conhecimentos prévios. Estes podem funcionar como facilitadores da aprendizagem, quando noções intuitivas estão em sintonia com o

conhecimento a ser formalizado. De maneira oposta, ideias prévias em conflito com o conhecimento científico podem constituir obstáculos à aprendizagem (JÚNIOR, 2017).

A extensa terminologia Genética é um terceiro problema que se soma à interpretação dos símbolos e esquemas, do cálculo matemático e do raciocínio probabilístico para explicar fenômenos biológicos. A riqueza de termos pode indispor o estudante a tentar compreender aqueles mais relevantes. Ainda, muitos estudantes não estão familiarizados com nomes que se parecem e soam similarmente, como cromossomos, cromátides e cromatina; homólogos e homozigoto; mitose e meiose, o que dificulta a compreensão de conceitos genéticos (CHU; REID, 2012).

A estratégia de ensino, tal como a metodologia tradicional de instrução, pode ser um quarto obstáculo à aprendizagem em Genética. Uma pesquisa realizada entre graduandos em ciências biológicas, de Instituições de Ensino Superior do setor privado, mostrou, por meio de entrevistas, que 100% dos estudantes criticam que o conteúdo é extenso, tratado de maneira descritiva, descontextualizada e desinteressante (PRIMON, 2005). Métodos alternativos de ensino podem ser mais eficientes na aquisição de concepções científicas em relação às aulas tradicionais. As aulas excessivamente expositivas, descontextualizadas e projetadas para memorização, podem dificultar a compreensão de novos conceitos. Apesar de existirem trabalhos que relatam o desenvolvimento de recursos pedagógicos facilitadores da aprendizagem em Genética (BRÃO; BENEVIDES PEREIRA, 2015; PLÁ et al., 2020), a utilização destes depende da disponibilidade de recursos, de tempo e do próprio professor.

Outras fontes de dificuldades apontadas são: o conteúdo matemático que acompanha a Genética, como no mendelismo, os processos citológicos e a estrutura do currículo de biologia, que isola tópicos como a meiose e a hereditariedade, contribuindo para a natureza abstrata da Genética (KNIPPELS; WAARLO; BOERSMA, 2005).

1.3 O Ensino em Genética e a meiose

Há mais de 30 anos, a meiose, um tópico importante para educação em Biologia, vem sendo frequentemente apontada como conteúdo de difícil aprendizagem (BROWN, 1990; FINLEY; STEWART; YARROCH, 1982; KINDFIELD, 1994). Até os dias de hoje, muitos trabalhos têm documentado que os estudantes não mobilizam conhecimentos sobre meiose em situações de aprendizagem em Genética. Na verdade, como ressalta Carvalho (2020), em um estudo conduzido em quatro Instituições de Ensino Superior, estudantes dos anos iniciais e estudantes após as aulas de meiose na graduação possuem pouca percepção sobre quais fenômenos da meiose estão relacionados a outros assuntos, como as Leis de Mendel. Klautau-Guimarães et al. (2009) apontam que estudantes chegam às universidades desconhecendo a associação entre meiose, reprodução sexual, variabilidade e herança genética. Os estudantes também têm dificuldade em conectar o processo meiótico a eventos importantes do ciclo celular, como a replicação do DNA (KALAS et al., 2013).

Além das poucas relações associativas entre a meiose e outros conhecimentos, os estudantes preservam concepções equivocadas sobre esse processo de divisão celular, como mostra diversos trabalhos em âmbito nacional. Guerra et al. (2020) analisaram 139 tarefas de diagramação da meiose de professores em formação em ciências biológicas da Universidade Federal de Minas Gerais. Os resultados obtidos são preocupantes, apenas 17,2% das diagramações foram consideradas como totalmente corretas. Os autores constataram que as principais dificuldades dos licenciandos foram: a representação da replicação do DNA (50,3% de acerto), determinação da ploidia do zigoto e produtos da meiose I e II (apenas 30,9% de acerto) e o processo de divisão, i.e., o movimento cromossômico na meiose (39,5% de acerto).

Dias (2008) relatou que a Genética, a biotecnologia e a citologia estavam entre os temas com mais baixo índice de aproveitamento, nesta ordem, em provas de vestibular, sugerindo que há um déficit de aprendizagem nessas áreas da biologia no ensino médio. Especificamente, em itens que abordavam o tema divisão celular, 80% dos vestibulandos apresentaram um índice

de aproveitamento baixo ou muito baixo. Dias (2008) também aponta que os conteúdos sobre a célula influenciam no surgimento de dificuldades de aprendizagem de conteúdos que demandam uma rede complexa de raciocínio, como a Genética e a biotecnologia.

Giacóia (2006) apresenta que estudantes concluintes do ensino médio e estudantes de graduação possuem conhecimento genético longe de ser satisfatório. Ainda, o autor não observou diferenças significativas entre os dois grupos quando estes foram testados sobre os conteúdos de Genética. Especialmente os processos mitose e meiose, os estudantes demonstraram ter uma dificuldade notória. Cerca de 79% dos estudantes do ensino médio não responderam ao item sobre divisão celular, conteúdo apontado pelo autor como um dos mais difíceis entre os pesquisados. Cerca de 67% dos licenciandos em ciências biológicas também não resolveram ao mesmo item, mesmo já tendo mais experiência, passado pelo vestibular e tendo cursado disciplinas como embriologia e biologia celular onde alguns conceitos são revistos.

Infante-Malachias et al. (2010) também pesquisaram a compreensão de conceitos genéticos básicos entre 207 estudantes de graduação da Universidade de São Paulo. Os autores trabalharam com estudantes de diferentes cursos: medicina, odontologia, fonoaudiologia, nutrição e psicologia, além do curso de ciências biológicas. Os resultados encontrados denotam conhecimento equivocado sobre conceitos da Genética elementar entre futuros professores e profissionais da saúde, apesar de os estudantes de biologia terem tido o melhor desempenho comparado aos outros cursos. As dificuldades dos professores em formação consistiam em confusão conceitual entre cromossomos e cromátides, a definição de alelos, a ideia de que cromátides irmãs contém informações Genéticas diferentes para um mesmo *locus* e cerca de 70% dos estudantes em fase de conclusão do curso representaram fases da mitose e meiose equivocadamente. Os autores também compararam o desempenho de estudantes do primeiro e do último ano do curso de ciências biológicas e, curiosamente, os calouros sem o mesmo conhecimento sobre temas da Genética a nível superior que os veteranos, frequentemente tiveram desempenhos melhores.

Em âmbito internacional, um estudo conduzido por Gil, Fradkin e Castañeda-Sortibrán (2018), na Universidade Nacional do México, com trinta estudantes veteranos de graduação (quinto período) do curso de ciências biológicas, mostrou que os estudantes têm um entendimento superficial da meiose. Nenhum estudante foi capaz de produzir um diagrama completo e correto desse processo, mesmo podendo consultar a literatura. Os erros incluíam: a representação de apenas cromossomos metacêntricos em oposição ao que foi solicitado no enunciado do exercício; representações idênticas entre a metáfase mitótica e metáfase II da meiose, bem como a anáfase mitótica e a anáfase II da meiose; inconsistências no número de cromossomos nos estágios sucessivos da meiose; esquemas idênticos para mitose e meiose II, incluindo o *crossing over* na mitose; confusões entre as fases da meiose e a representação de cromátides duplicadas ou não, etc. Apesar dos erros, os estudantes foram capazes de solucionar problemas matemáticos associados à meiose, o que indica falta de associação entre o mendelismo e a meiose. Os autores atribuem as dificuldades entre os universitários aos esquemas simplificados, contendo erros e com omissões que aparecem nas imagens e textos da internet sobre o tema.

Lewis, Leach e Wood-Robinson (2000) propuseram itens para avaliar a compreensão de uma amostra de 482 estudantes britânicos jovens sobre os processos de divisão celular e a fertilização. Os estudantes tinham de 14 a 16 anos e estavam na etapa final do ensino obrigatório de ciências. Os autores constataram a falta de entendimento sobre a relação física entre cromossomos e o material genético e a relação entre o comportamento dos cromossomos na divisão celular e a continuidade da informação Genética na espécie. Especificamente sobre a meiose, os estudantes tinham dificuldade em distinguir em qual célula esse processo ocorre (somático ou germinativo), e a concepção de que o número de cromossomos dobraria ao final da divisão.

Dikmenli (2010), por meio de entrevistas e diagramações do processo de divisão celular realizadas por uma coorte de 124 estudantes turcos, licenciandos de biologia, relatou que menos da metade dos estudantes possuía um conhecimento adequado da meiose. Apenas 13% representaram a meiose corretamente, o que, comparado com a proporção de desenhos aceitáveis da mitose (28%), demonstra que a meiose é um tópico mais complicado para os

estudantes. Algumas concepções equivocadas identificadas incluem a ideia de que todo cromossomo é composto por duas cromátides irmãs durante a divisão celular, na meiose I, o número de cromossomos se mantêm o mesmo e é diminuído pela metade apenas na meiose II, a replicação do DNA ocorre na prófase e confusões entre mitose/meiose, haploide/diploide, cromátides-irmãs/cromossomos homólogos, o comportamento dos cromossomos durante a divisão e o número de cromossomos.

Kindfield (1994) pesquisou a compreensão Genética de três grupos compostos por cinco indivíduos com diferentes níveis de ensino no assunto: professores universitários, estudantes de pós-graduação em Genética, graduandos veteranos, que já cursaram disciplinas básicas da Genética, e calouros. Por meio de modelos da meiose elaborados pelos pesquisados, a autora constatou um conjunto de características corretas comuns a todos os modelos, mas, também, as seguintes inconsistências no entendimento dos participantes: uma concepção comum entre estudantes inexperientes era que cromossomos não replicados são típicos de células haploides. Já cromossomos compostos por cromátides irmãs são característicos de células diploides. Os estudantes confundiam também o momento em que pares de cromossomos duplicados se alinhavam no núcleo (meiose I) e o momento em que os cromossomos se alinhavam individualmente (meiose II). As características da meiose I e II eram trocadas. Estudantes inexperientes consideravam que a permutação ocorria na meiose II e não na meiose I, dentre outras concepções equivocadas.

Constam na literatura uma ampla variedade de estudos, além dos supracitados, que relatam concepções equivocadas sobre conceitos genéticos relacionados à meiose (por exemplo, KALAS et al., 2013; LEAL et al., 2017; WRIGHT; NEWMAN, 2011).

1.4 Concepções equivocadas: significado e origem

Em termos gerais, concepções equivocadas, do inglês *misconceptions*, são entendimentos peculiares sobre determinados conceitos que contrariam conhecimentos cientificamente

comprovados. Tais concepções estão frequentemente enraizadas de maneira profunda e são resistentes ao ensino (ETOBRO; BANJOKO, 2017; POSNER et al., 1982). As concepções equivocadas são construídas pelo estudante a partir da experiência para tornar fenômenos naturais e objetos compreensíveis (BAHAR, 2003). Os autores utilizam diferentes termos para se referir às concepções equivocadas, como ideias/concepções alternativas, concepções espontâneas, teorias intuitivas, crenças/teorias ingênuas, etc. Neste trabalho será utilizado o termo concepção equivocada, por ser o termo mais familiarizado com o público (BAHAR, 2003).

As concepções equivocadas, segundo Yip (1998), podem se originar de 3 maneiras: 1. Concepções equivocadas podem ser formadas a partir de experiências cotidianas que os estudantes trazem às salas de aula; 2. Durante o ensino em sala de aula; 3. Propagados por professores e, também, por livros didáticos. Vilas-Boas (2006), por exemplo, descreve algumas concepções equivocadas propagadas em livros didáticos sobre conceitos genéticos. Contudo, na Biologia, é pouco provável que os estudantes tenham contato direto com certos conceitos científicos mais abstratos e complexos em suas vidas cotidianas, como a própria divisão celular. É mais provável que essas concepções equivocadas sejam oriundas da segunda ou terceira categoria, desenvolvidas por falhas no processo de ensino e aprendizagem, que podem ocorrer quando um tema é apresentado com um conjunto excessivo de detalhes e o estudante apenas memoriza as informações ou quando os subsunçores¹ estão ausentes (MOREIRA, 2012). Outra fonte é a propagação de informações errôneas ou incompletas por parte do professor, quando este não domina determinado conteúdo e os estudantes aceitam de forma mecânica e passiva a informação transferida (YIP, 1998).

Na década de 70, nomeada “época das concepções alternativas”, a comunidade de pesquisadores em Ensino de Ciências concentrou esforços para compreender as ideias alternativas que os estudantes trazem às salas de aulas sobre conceitos da ciência. Estudos pioneiros dessa época investigaram conceitos associados à teoria das partículas e matéria

¹ Subsunçores são conhecimentos prévios especificamente relevantes existentes na estrutura cognitiva do indivíduo que aprende e permite dar significado a novas aprendizagens. Subsunçores podem ser conceitos, esquemas, modelos mentais, etc. (MOREIRA, 2012).

entre estudantes do ensino fundamental (DORAN, 1972) e sobre conceitos como força, energia e movimento, entre estudantes do ensino médio e universitários (VIENNOT, 1979).

Nos anos seguintes, especialmente na década de 80, centenas de estudos que exploravam as concepções dos estudantes em áreas da ciência foram publicados. O que intrigava os pesquisadores era que, embora haja influências culturais, diferenças individuais e significados pessoais das coisas para os estudantes, o que se encontrava, em estudos sobre um mesmo conteúdo específico, eram semelhanças consideráveis nas trajetórias conceituais relatadas em trabalhos realizados com estudantes de diferentes origens e países (DRIVER, 1989).

Após o grande *boom* de trabalhos unicamente descritivos a respeito de concepções equivocadas compartilhadas por estudantes e professores, ocorreu uma crise nesse movimento, pois era necessário avançar nas pesquisas descritivas, traçar novos objetivos a fim de compreender as fontes de tais concepções. O movimento das concepções alternativas gerava um grande volume de dados, mas era um movimento fraco em teorias no que diz respeito ao processo de ensino-aprendizagem e aplicações na sala de aula (MORTIMER, 1996). Na década de 80, pesquisas com outros objetivos, como descobrir por quais processos ocorre a mudança conceitual, começaram a aparecer. Alguns autores inclusive consideram essa década como a “década da mudança conceitual” (MOREIRA; GRECA, 2003).

Posner e colaboradores em 1982, pela primeira vez, trouxeram à tona a discussão sobre um modelo de ensino por mudança conceitual, o qual recebeu atenção dos educadores de ciências na época. O modelo defendia que a aprendizagem de ciências envolve um processo no qual concepções novas, aceitas cientificamente, progressivamente substituem “concepções espontâneas”, a partir do momento em que são apresentadas aos estudantes novas informações e evidências. Nesse modelo os autores defendem que, ao utilizar concepções prévias para analisar um novo fenômeno, os estudantes estariam em processo de assimilação. Contudo, muitas vezes, as concepções prévias dos estudantes podem representar um obstáculo à construção de um conhecimento novo. Neste caso, o estudante precisaria substituir

concepções prévias por concepções científicas, um processo denominado acomodação. Tal substituição deve obedecer a algumas condições, como: deve haver insatisfação com as concepções existentes, a concepção nova deve fornecer explicações melhores e inteligíveis, deve parecer plausível, isto é, deve propor soluções válidas aos problemas e estar de acordo com outros conhecimentos, deve ser frutífera para questões futuras (ter potencial para novas descobertas) (POSNER et al., 1982).

Apesar do modelo inicial descrito, o significado de mudança conceitual abrange um conjunto de visões distintas. Modelos alternativos posteriores de mudança conceitual buscavam levar em consideração outros aspectos não considerados no modelo inicial de Posner. Moreira e Greca (2003), por exemplo, na aprendizagem significativa no sentido utilizado por Ausubel (1983), acreditam que a mudança conceitual como uma substituição de concepções prévias por concepções científicas não existe, conflitos cognitivos não são capazes de apagar concepções frutos de aprendizagem significativa na estrutura cognitiva do estudante. Portanto, a mudança conceitual no contexto da aprendizagem significativa seria a adição de significado às concepções prévias, estas, por sua vez, se tornam mais diferenciadas, mas com resíduos dos significados originais. O produto da mudança conceitual seria o subsunçor mais rico, mais elaborado. Moreira e Greca (2003) ainda sugerem que o termo mais adequado para os modelos que sugerem a substituição de concepções seria “substituição conceitual”, pois o termo mudança é uma transição de uma coisa para outra e não implica troca entre concepções.

Mortimer (1996) discute a noção de perfil conceitual, que não entende a evolução do entendimento dos estudantes em sala de aula como uma substituição de ideias alternativas por ideias científicas, mas sim que as ideias novas passam a conviver com as ideias antigas, sendo que cada uma delas seria apropriada em determinado contexto. Assim, aprender ciências, segundo esse ponto de vista, não se trata de substituir concepções, mas sim em aprender a distinguir quando cada concepção científica ou alternativa é apropriada. Por exemplo, sob o ponto de vista da física, não é adequado dizer “feche a porta para o frio não entrar”, pois não existe a grandeza “frio”, na realidade, é o calor que sai. Contudo, em situações cotidianas não há problema dizer “este agasalho me esquento bem”.

Pintrich, Marx e Boyle (1993) argumentam que os modelos de aprendizagem baseados apenas em fatores cognitivos não explicam o porquê de estudantes com conhecimentos prévios necessários não ativarem ou transferirem tais conhecimentos em tarefas escolares ou tarefas fora da escola. Os autores acrescentam um mediador do processo de mudança conceitual, a motivação do estudante, que inclui os objetivos, intenções, expectativas e necessidades. Indicadores comportamentais de motivação seriam, por exemplo, o nível de engajamento em uma tarefa e a disposição para persistir na tarefa.

DiSessa (2014) ressalta que as pesquisas sobre concepções enfatizaram a análise qualitativa da compreensão de conceitos em detrimento da análise exclusivamente quantitativa da resolução de problemas. Ainda, as pesquisas deram ênfase às concepções prévias dos estudantes, superando o pensamento de que o estudante seria um recipiente vazio a ser preenchido. Mortimer (1996) ressalta que os resultados dessas pesquisas contribuíram para o fortalecimento da visão construtivista de ensino, em que ideias prévias constituem um fator importante no processo de aprendizagem e o estudante participa ativamente do processo de construção do conhecimento.

É verdade que a persistência das concepções equivocadas preocupa muitos pesquisadores e professores. A identificação das concepções equivocadas é um passo inicial importante para informar o educador e aprimorar o ensino e aprendizagem de conceitos científicos, possibilitando a correção e prevenção dessas concepções.

1.5 Como identificar concepções equivocadas?

Vem sendo desenvolvidos diferentes meios para avaliar a compreensão de conceitos e processos biológicos entre estudantes ou professores. Alguns usos incluem a elaboração de diagramas (GUERRA et al., 2020), aplicação do protocolo verbal *think aloud*² (SMITH;

² *Think aloud* ou “pensar em voz alta” é um método em que o sujeito é solicitado a falar em voz alta, enquanto resolve um problema, e essa solicitação é repetida, se necessário, durante o processo de solução do problema,

WOOD; KNIGHT, 2008), situações-problema (CARNEIRO; DAL-FARRA, 2011), exercícios de construção de modelos (BROWN, 1990), dentre outros.

Entretanto, algumas técnicas podem ser mais dispendiosas do que outras dependendo do número de sujeitos com quem se pretende trabalhar. A utilização de um inventário conceitual é uma alternativa prática para envolver um número grande de estudantes na pesquisa. Além disso, o instrumento é confiável, dado seu processo de elaboração, e objetivo, uma vez que avalia tendências comuns de pensamento previamente documentadas na literatura.

1.6 Inventários Conceituais

Os inventários conceituais (IC) também chamados de testes de diagnóstico conceitual são instrumentos de múltipla escolha em que os distratores (opções incorretas) representam concepções equivocadas compartilhadas por estudantes documentadas na literatura. Os IC são úteis para avaliar o entendimento conceitual dos estudantes e podem ser empregados como pré e pós-teste. No primeiro caso podem ser aplicados para avaliar a compreensão dos estudantes sobre determinado tema antes de uma disciplina e, no segundo caso, podem ser aplicados para detectar possíveis novos conhecimentos, além de identificar dificuldades na compreensão de conceitos que persistam após a disciplina (BOWLING et al., 2008; SMITH; KNIGHT, 2012). Ademais, os IC podem ser empregados para avaliar inovações curriculares (MCELHINNY et al., 2014) ou mesmo verificar a eficácia de intervenções não tradicionais (por exemplo, METZGER; YOWLER, 2019).

Os IC podem ser elaborados para amostrar uma grande área, como o Inventário Conceitual de Biologia (KLYMKOWSKY; GARVIN-DOXAS, 2008), uma subárea, como a biologia celular e molecular (SHI et al., 2010) e a Genética (BOWLING et al., 2008; SMITH; WOOD; KNIGHT, 2008), ou um tema, como a seleção natural (ANDERSON; FISHER; NORMAN,

incentivando o sujeito a dizer o que está pensando (VAN SOMEREN, M.W.; BARNARD, Y.F.; SANDBERG, 1994).

2002; NEHM; SCHONFELD, 2008), a meiose (KALAS et al. 2013) e a expressão gênica (STEFANSKI; GARDNER; SEIPELT-THIEMANN, 2016).

O primeiro inventário foi desenvolvido e utilizado pela comunidade de física, o Inventário Conceitual de Força, que objetiva acessar o conhecimento do estudante a respeito desse conteúdo da Mecânica Clássica (HESTENES; WELLS; SWACKHAMER, 1992). Dado o seu impacto no ensino de física, este representou um ponto de partida para que novos IC fossem elaborados (LIBARKIN, 2008). Tais instrumentos são construídos para medir o entendimento conceitual em áreas que, reconhecidamente, os estudantes mantêm concepções equivocadas. Segundo Garvin-doxas e Klymkowsky (2007), os IC possuem as seguintes características:

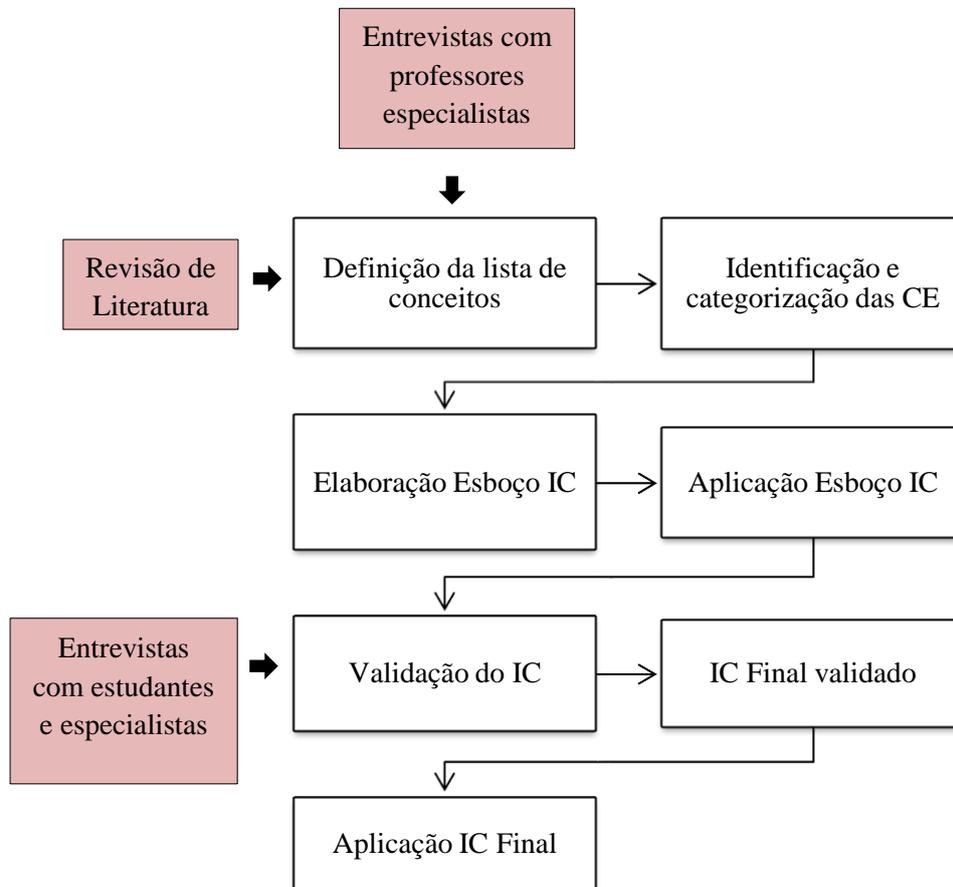
- Eles se assemelham a testes típicos de múltipla escolha, mas os distratores (as respostas "erradas") são baseados em descobertas de pesquisas que indicam concepções equivocadas comumente compartilhadas pelos estudantes;
- Os distratores diagnosticam ou mapeiam um nível específico de compreensão conceitual do estudante;
- Cada distrator revela em que ponto o entendimento do estudante se desviou ou ficou "estagnado".

O uso dos IC como materiais que visam documentar concepções equivocadas entre os educandos é vantajoso, visto que são evitados erros comuns observados em muitos instrumentos de pesquisa. Alguns questionários aplicados aos estudantes não passam por etapas de validação, o que leva a dúvidas sobre a qualidade dos resultados. Por vezes, existem perguntas que não são precisas em avaliar o conhecimento que o docente realmente pretende acessar, itens que geram interpretações divergentes, vocabulário inadequado ao público alvo, etc. A elaboração dos inventários inclui um processo de múltiplas etapas que resulta em um instrumento de avaliação mais confiável a ser utilizado, por exemplo, o instrumento Avaliação de Conceitos de Genética (em inglês, *Genetic Concept Assessment* ou GCA) (SMITH; WOOD; KNIGHT, 2008) e o Instrumento de Avaliação de Alfabetização em

Genética (em inglês, *Genetic Literacy Assessment Instrument* ou GLAI) (BOWLING et al., 2008).

As etapas de elaboração desses testes diagnósticos envolvem um processo sistemático, como revisão de literatura pertinente para definir uma lista de conceitos que serão abordados no inventário, entrevistas com docentes a fim de traçar metas essenciais para o entendimento de determinado assunto, identificação de concepções equivocadas (por meio de entrevistas com estudantes, evidências anedóticas, provas, exercícios, etc.), elaboração de um esboço de inventário conceitual inserindo as concepções equivocadas identificadas como distratores, entrevistas adicionais com os estudantes (n= 20 a 40) e especialistas da área (n=6 a 10) para validar o instrumento. Modificações são feitas pelos autores acatando sugestões fornecidas e, por fim, a administração do teste revisado a um número considerável de estudantes (ADAMS; WIEMAN, 2011).

Figura 1: Processo de desenvolvimento de inventários conceituais. Em vermelho são apontadas as fontes e feedbacks e em branco o processo de elaboração. CE: concepções equivocadas; IC: Inventário conceitual.



Utilizando um inventário conceitual como instrumento de coleta de dados, a presente pesquisa foca na avaliação da compreensão de conceitos da Genética clássica ou de transmissão, a qual, segundo Pierce (2011, p.5), “engloba os princípios básicos da hereditariedade e explica como as características são transmitidas de uma geração para a seguinte”. Especificamente, a investigação foi direcionada à identificação de possíveis concepções equivocadas sobre o tema meiose, além de buscar compreender as causas subjacentes às concepções identificadas entre estudantes recém-ingressos na universidade e entre professores em formação. Para isso, foi utilizado o Inventário Conceitual de Meiose.

1.7 Inventário Conceitual de Meiose (ICM)

Neste estudo foi utilizado o Inventário Conceitual de Meiose (ICM) adaptado, desenvolvido no período de janeiro de 2010 a novembro 2011, na *University of British Columbia*, no Canadá (KALAS et al., 2013).

É importante destacar que não foram encontrados em trabalhos desenvolvidos no Brasil a utilização de um inventário de conceitos em pesquisas da área de Biologia. Foi encontrado, no entanto, o uso de um inventário de conceitos na área de Física (SILVAL; SILVA; MANSOR, 2009). No âmbito internacional, os trabalhos que utilizaram o Inventário Conceitual de Meiose tinham como objetivo principal comparar a eficácia de diferentes abordagens de ensino utilizadas para ensinar meiose (GOFF et al., 2017; METZGER; YOWLER, 2019; NEWMAN; WRIGHT, 2017), objetivo que difere deste trabalho.

O ICM consiste em 17 itens distribuídos em itens de múltipla-escolha convencionais (n=7) e do tipo multi-resposta (n=10), nos quais os pesquisados devem assinalar todas as alternativas que consideram corretas dentre as quatro opções disponíveis (formato x de 4). As perguntas são projetadas para avaliar o conhecimento dos graduandos sobre as seguintes categorias conceituais: ploidia; relação entre quantidade de DNA, número de cromossomos e ploidia; cronologia dos principais eventos da meiose; e representação pictórica dos cromossomos (por exemplo, cromátides irmãs vs. cromossomos homólogos, arranjo dos cromossomos na metáfase da meiose I vs. meiose II). Para cada categoria existem de dois a quatro itens. Cada item possui, dentre as alternativas, os distratores, que representam concepções equivocadas representativas, e uma ou mais opções que representam ideias cientificamente aceitas.

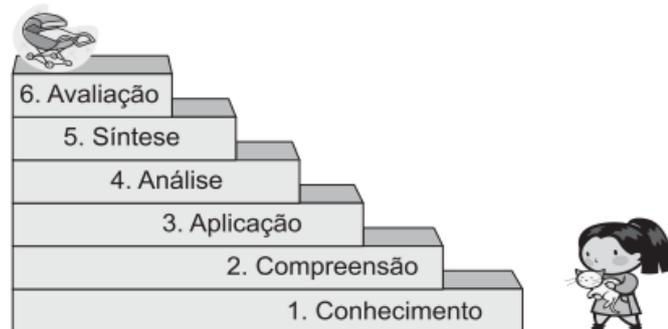
Os itens do ICM são classificados segundo a Taxonomia de Bloom do Domínio Cognitivo, classificação elaborada em um projeto multidisciplinar conduzido por Benjamin S. Bloom e colaboradores em 1956 nos Estados Unidos. A taxonomia é uma estrutura para classificar afirmações sobre o que se espera que os estudantes aprendam como resultado do estudo

(ANDERSON; KRATHWOHL; BLOOM, 2001). A taxonomia de Bloom abrange 3 domínios: o cognitivo, o afetivo e o psicomotor. Neste trabalho, abordaremos apenas o domínio cognitivo, o qual está relacionado à aquisição do conhecimento e desenvolvimento intelectual (lembrar, pensar, resolver problemas) (FERRAZ; BELHOT, 2010).

A taxonomia é útil para unificar a linguagem sobre os objetivos de aprendizagem, facilitando a comunicação entre professores e pesquisadores da educação, pois, como ressalta Ferraz e Belhot (2010), o verbo *conhecer*, por exemplo, era utilizado tanto no sentido de "saber da existência" como para "expressar domínio de determinado assunto". A taxonomia também pode ser utilizada para determinar para cursos ou currículos a definição e o significado de metas educacionais, como as encontradas nos documentos nacionais e estaduais; direcionar o desenvolvimento de atividades e instrumentos de avaliação; e apoiar os docentes no desenvolvimento de planejamentos e estratégias a fim de auxiliar os seus estudantes de forma consciente e estruturada na aquisição de conhecimentos e competências (FERRAZ; BELHOT, 2010).

A taxonomia do domínio cognitivo (Figura 2) é composta por 6 categorias (Conhecimento, Compreensão, Aplicação, Análise, Síntese e Avaliação) subdivididas em subcategorias, as quais são estruturadas hierárquica e cumulativamente em níveis crescentes de complexidade, partindo da aquisição de habilidades mentais mais simples, como conhecimento e compreensão, ao alcance de habilidades mentais mais complexas, como aplicação e análise. Cada categoria estabelece uma relação de dependência entre si, de forma que, o domínio de categorias mais simples é pré-requisito para o alcance das categorias mais complexas (ANDERSON; KRATHWOHL; BLOOM, 2001; BLOOM et al., 1956a; FERRAZ; BELHOT, 2010).

Figura 2: categorias da Taxonomia de Bloom, organizadas hierarquicamente em níveis crescentes de complexidade. A habilidade mental mais simples é representada pela categoria Conhecimento. A habilidade mental mais complexa é representada pela categoria Avaliação. A aquisição de habilidades mais complexas depende da aquisição de habilidades mentais mais simples.



Fonte: FERRAZ; BELHOT, (2010)

Os itens do ICM são classificados em quatro das categorias supracitadas: Conhecimento, Compreensão, Aplicação e Análise:

Quadro 1: Taxonomia de Bloom do domínio cognitivo

Categorias	Descrição
Análise	<p>Habilidade de subdividir o conteúdo em partes menores com a finalidade de entender a estrutura final. Essa habilidade pode incluir a identificação das partes, análise de relacionamento entre as partes e reconhecimento dos princípios organizacionais envolvidos. Identificar partes e suas relações. Nesse ponto é necessário não apenas ter compreendido o conteúdo, mas também a estrutura do objeto de estudo.</p> <p>Verbos: analisar, reduzir, classificar, comparar, contrastar, determinar, deduzir, diagramar, distinguir, diferenciar, identificar, ilustrar, apontar, inferir, relacionar, selecionar, separar, subdividir, calcular, discriminar, examinar, experimentar, testar, esquematizar e questionar.</p>
Aplicação	<p>Habilidade de usar informações, métodos e conteúdos aprendidos em novas situações concretas. Isso pode incluir aplicações de regras, métodos, modelos, conceitos, princípios, leis e teorias.</p> <p>Verbos: aplicar, alterar, programar, demonstrar, desenvolver, descobrir, dramatizar, empregar, ilustrar, interpretar, manipular, modificar, operacionalizar, organizar, prever, preparar, produzir, relatar, resolver, transferir, usar, construir, esboçar, escolher, escrever, operar e praticar.</p>
Compreensão	<p>Habilidade de compreender e dar significado ao conteúdo e de utilizá-lo em contextos diferentes. Nessa habilidade o indivíduo sabe o que está sendo comunicado e pode fazer uso da ideia sem necessariamente relacioná-la a outro material ou ver suas implicações mais completas. Essa habilidade pode ser demonstrada por meio da tradução do conteúdo compreendido para uma nova forma (oral, escrita, diagramas etc.) ou contexto.</p> <p>Verbos: alterar, construir, converter, decodificar, defender, definir, descrever, distinguir, discriminar, estimar, explicar, generalizar, dar exemplos, ilustrar, inferir, reformular, prever, reescrever, resolver, resumir, classificar, discutir, identificar, interpretar, reconhecer, redefinir, selecionar, situar e traduzir.</p>
Conhecimento	<p>Habilidade de lembrar informações e conteúdos previamente abordados como fatos, datas, palavras, teorias, métodos, classificações, lugares, regras, critérios, procedimentos etc. A habilidade pode envolver lembrar uma significativa quantidade de informação ou fatos específicos. O objetivo principal desta categoria é trazer à consciência esses conhecimentos.</p> <p>Verbos: enumerar, definir, descrever, identificar, denominar, listar, nomear, combinar, realçar, apontar, relembra, recordar, relacionar, reproduzir, solucionar, declarar, distinguir, rotular, memorizar, ordenar e reconhecer.</p>

Fonte: adaptado de Ferraz & Belhot (2010).

Itens de nível cognitivo mais baixo, como conhecimento e compreensão, são importantes para comparar o desempenho dos estudantes com relação aos demais itens da mesma categoria conceitual e de níveis cognitivos mais elevados (KALAS et al., 2013).

Sinteticamente, as etapas de elaboração do ICM, de acordo com as autoras, foram:

1. Identificação das ideias que divergem do conhecimento científico entre os estudantes por meio de diversas fontes, como evidências anedóticas, avaliações passadas, lições de casa e erros comuns já documentados na literatura.
2. Agrupamento das concepções equivocadas nas seis categorias conceituais supracitadas.
3. A criação de itens abertos e de múltipla escolha para cada categoria;
4. Aplicação das perguntas a grupos focais de 3 a 5 estudantes (total= 42 estudantes) e estes foram incentivados a verbalizar sobre o conteúdo e sobre a linguagem utilizada nos itens.
5. As informações coletadas dos grupos focais e o *feedback* dos estudantes foram considerados para refinar os itens do inventário e adaptar a linguagem.
6. Aplicação do protocolo verbal *think aloud* individualmente com 28 estudantes e, por meio dessa etapa, alguns itens sofreram alterações mínimas.
7. Validação do conteúdo do inventário com profissionais que possuem experiência no ensino e pesquisa de Genética e biologia celular e molecular. Os especialistas foram estimulados a resolver os itens e retornar uma avaliação a respeito da clareza e precisão instrumento. Outras modificações foram feitas acatando sugestões.

1.8 Justificativa

A complexidade inerente ao processo de meiose constitui, por si só, um obstáculo à construção desse conhecimento. Sabido que o entendimento desse processo de divisão repercute no entendimento de temas importantes da biologia, reforça a necessidade de

concentrar esforços para compreender as dificuldades sobre conceitos básicos que envolvem a meiose nos estudos de âmbito nacional. Assim, a proposta do presente trabalho foi investigar possíveis dificuldades sobre o tema entre estudantes que chegam ao ensino superior e entre futuros professores após as aulas de Genética ofertadas na graduação, sendo ambos os grupos do curso de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

Parte-se da premissa que pesquisando o entendimento conceitual entre estudantes egressos do ensino básico será possível detectar as demandas de aprendizagem, as quais, segundo Júnior (2017), “são identificadas por meio da análise das diferenças entre o conhecimento prévio dos estudantes e o conhecimento que se pretende ensinar”. A partir dessas demandas poderá ser possível estruturar estratégias de ensino que atendam às necessidades conceituais identificadas.

Da mesma forma, investigar a compreensão de conceitos entre licenciandos pode informar os docentes universitários quanto às dificuldades persistentes e, assim, contribuir com ideias que visem superar compreensões inadequadas da meiose. Ademais, estudo com futuros professores é fundamental para que concepções equivocadas sejam detectadas e não sejam obstáculos para o exercício da profissão docente.

2 OBJETIVOS

Objetivo Geral: Investigar as dificuldades na compreensão de conceitos associados ao processo de meiose compartilhadas por estudantes de graduação em Ciências Biológicas em diferentes momentos do curso.

Objetivos Específicos

- Identificar as possíveis dificuldades na compreensão de conceitos sobre meiose apresentadas por estudantes de licenciatura e bacharelado de biologia do primeiro semestre do curso;
- Detectar possíveis concepções equivocadas resistentes a mudanças conceituais entre estudantes veteranos da licenciatura;
- Quantificar o desempenho geral e em cada item e comparar os valores entre calouros e veteranos no ICM;
- Analisar as concepções equivocadas comuns a ambos os grupos;
- Associar os resultados coletados da aplicação do ICM e de entrevistas para compreender a natureza das concepções equivocadas encontradas.

3 METODOLOGIA

O estudo possui caráter quantitativo e qualitativo. Os dados quantitativos foram coletados a partir da aplicação do Inventário Conceitual de Meiose (ICM) a 70 estudantes do curso de Ciências Biológicas da UFMG por meio de questionário online no mês de setembro de 2020. Os dados qualitativos foram adquiridos por entrevistas individuais do tipo semiestruturada no mês de junho de 2021.

3.1. Participantes da pesquisa

A pesquisa foi conduzida no curso de graduação em Ciências Biológicas da UFMG (modalidade presencial) com estudantes da licenciatura e do bacharelado dos turnos diurno e noturno. A duração padrão do curso é de 9 a 10 semestres e 3120 horas, incluindo disciplinas obrigatórias, optativas e eletivas. A disciplina Genética I faz parte do segundo período do curso e a Genética II do sexto período, ambas compõem a carga horária obrigatória da estrutura curricular e totalizam 105 horas de teoria e prática.

O convite para participação voluntária foi feito via e-mail. Foram selecionadas turmas de disciplinas do primeiro semestre do curso, cujos estudantes ainda não haviam cursado disciplinas da Genética, e estudantes que optaram pela modalidade licenciatura e que já haviam cursado, pelo menos, a disciplina Genética I (estudantes a partir do 3º período) para aplicação do ICM. Durante a aplicação do instrumento de coleta de dados os estudantes foram consultados quanto ao período que cursavam e quanto às disciplinas de Genética que haviam frequentado. Neste trabalho o termo “veteranos” será utilizado para fazer referência a estudantes de licenciatura a partir do terceiro período que concluíram, pelo menos, a disciplina Genética I.

A avaliação da mudança conceitual teria se dado, portanto, após os estudantes participarem de momentos de aprendizagem formal sobre a Genética. É importante ressaltar que o presente trabalho não se trata de um estudo longitudinal, e sim, de estudo comparativo que se sucedeu com dois grupos de estudantes em momentos diferentes da graduação.

3.2. A meiose no currículo

O instrumento de avaliação a ser utilizado em uma pesquisa deve ser alinhado com o currículo escolar ou programa de ensino de um curso particular, contemplando tópicos considerados importantes para autoridades no assunto. Assim, a seleção coerente de um inventário conceitual para ser utilizado como instrumento de pesquisa entre estudantes recém ingressos na universidade foi feita considerando que documentos oficiais orientam o ensino do tema específico deste estudo nacionalmente. Além disso, conteúdos relacionados à meiose aparecem tanto em documentos oficiais mais antigos, quanto mais recentes, o que aponta a relevância do tema nos currículos de ciências da educação básica brasileira (BRASIL, 1999; BRASIL, 2002; BRASIL, 2018).

Igualmente, documentos do próprio Estado colocam a meiose como conteúdo obrigatório nas escolas estaduais de Minas Gerais (MINAS GERAIS, 2006). Assim, parte-se do princípio que os calouros que participaram desta pesquisa estudaram o conteúdo de meiose na escola ou na preparação para o Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM).

A Base Nacional Comum Curricular (BNCC), “documento normativo que define o conjunto de aprendizagens essenciais que todos os estudantes devem desenvolver ao longo das etapas e modalidades da Educação Básica” (BRASIL, 2018, p. 7), regulamenta, entre as competências e habilidades da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, a aprendizagem de conteúdos relacionados à meiose, como reprodução; associar os gametas à transmissão das características hereditárias, estabelecendo relações entre ancestrais e descendentes; discutir as ideias de Mendel sobre hereditariedade (fatores hereditários, segregação, gametas,

fecundação), considerando-as para resolver problemas envolvendo a transmissão de características hereditárias em diferentes organismos (BRASIL, 2018, p. 351).

Os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCN-EM, 1999) e a nova proposta complementar (PCN+ 2002), documentos visam “normatizar e reorientar a educação brasileira” (OLIVEIRA et al., 2013), reconhecem “a identificação e descrição dos processos de reprodução celular” como conhecimentos fundamentais para “o entendimento do modo como a hereditariedade acontece” (BRASIL, 1999, p. 19) e “a representação do processo de duplicação do DNA e o reconhecimento da reprodução sexuada e do processo meiótico como fonte de variabilidade Genética” (BRASIL, 2002, p. 48).

Os conteúdos básicos comuns (CBCs), que integram a proposta curricular desenvolvida pela Secretaria de Estado de Educação de Minas Gerais (SEE-MG), "expressam os aspectos fundamentais de cada disciplina, que não podem deixar de ser ensinados e que o estudante não pode deixar de aprender" (MINAS GERAIS, 2006, p. 9). No documento de Biologia destinado ao ensino médio da rede pública mineira, como tópicos obrigatórios, estão os processos de mitose e meiose. Sobre este último, o documento reconhece como habilidades essenciais “reconhecer a importância da meiose no processo de formação de células reprodutivas (gametas nos animais e esporos nos vegetais)” e “reconhecer que a reprodução sexuada envolve troca de material genético entre indivíduos, processo articulado com a hereditariedade, com a identidade e a diversidade dos organismos” (MINAS GERAIS, 2006, p. 37).

Observa-se, portanto, que a reprodução celular é conteúdo indispensável na etapa final do ensino básico. Assim, pressupõe-se que os calouros cujo conhecimento sobre meiose foi pesquisado possuem conhecimentos prévios escolares.

Uma segunda preocupação foi verificar se os livros didáticos adotados no ensino médio abordam os conceitos testados no inventário conceitual e, também, a profundidade com que

estes são tratados na última etapa da educação básica. Para identificar os livros de biologia mais utilizados e indicados do Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) foi feita uma consulta ao Relatório Quantitativo de livros no site do Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação para pesquisar os livros mais distribuídos às escolas públicas do Estado de Minas Gerais, município de Belo Horizonte, no ano de 2018 a 2020, os quais são listados abaixo:

Quadro 2: Livros mais utilizados pelas escolas públicas do Estado de Minas Gerais

TÍTULO	AUTORES	EDITORA	VOLUME
Biologia Hoje: Citologia, Reprodução e Desenvolvimento, Histologia, Origem da vida	Sérgio Linhares, Fernando Gewandsznajder, Helena Pacca	Ática	1
Biologia, Ecologia, Origem da Vida e Biologia Celular, Embriologia e Histologia	Vivian L. Mendonça	AJS	1
Biologia Moderna	José Mariano Amabis e Gilberto Rodrigues Martho	Moderna	1

A divisão celular possui um capítulo específico nos livros consultados destinados ao primeiro ano do ensino médio. Primeiramente, os livros trazem conhecimentos chave tratados no instrumento de pesquisa deste trabalho, como estrutura dos cromossomos, cromossomos homólogos, cromátides irmãs, haploide, diploide, replicação do DNA e assim por diante.

No que diz respeito ao processo meiose, os materiais didáticos trazem uma introdução sobre o que é meiose, a importância desse tipo de divisão na formação dos gametas e esporos e as semelhanças e diferenças com o processo de mitose. Em seguida, os livros trazem uma descrição cuidadosa de cada fase da divisão, inclusive subfases da prófase, juntamente com imagens ilustrativas dos principais eventos de cada etapa, como emparelhamento de homólogos, *crossing over*, separação de homólogos e cromátides irmãs, enfim, toda dinâmica de distribuição dos cromossomos durante a divisão. Também, é discutida a importância da meiose na variabilidade Genética.

Os processos de divisão são retomados nos livros na apresentação de muitos outros temas, como alterações cromossômicas, gametogênese, reprodução, desenvolvimento embrionário, leis de Mendel, os diferentes tipos de herança, a ligação e a interação gênica, dentre outros assuntos. Portanto, o tema processo meiótico não é apresentado apenas em capítulos específicos dos livros consultados, mas também relacionado a outros temas, o que pode propiciar diferentes momentos de aprendizagem aos estudantes leitores.

Dessa forma, considera-se compatível o instrumento de pesquisa, sobre conceitos básicos necessários ao entendimento da meiose, com o conteúdo ministrado e disponibilizado em livros para educação básica.

3.2.1. A meiose no curso de graduação de ciências biológicas:

Foram consultados programas de disciplinas de Genética e outras relacionadas, que integram a estrutura curricular do curso de Ciências Biológicas da UFMG vigente em 2020, para escolher o momento de aplicação do instrumento de pesquisa e definir o grupo de estudantes a serem entrevistados. Esses documentos foram disponibilizados pelo colegiado do curso, mas algumas informações sobre o currículo estão disponíveis no site da universidade (consulte em: <https://ufmg.br/cursos/graduacao/2379/91401>).

A Genética clássica é conteúdo previsto para o segundo período do curso na disciplina obrigatória Genética I. Inicialmente, os graduandos estudam as bases mendelianas da hereditariedade, momento no qual terminologias Genéticas podem ser relembradas ou introduzidas. O contato com o processo de meiose se inicia desde já, visto que os princípios de Mendel são baseados no comportamento dos cromossomos na divisão celular. Em seguida, os estudantes estudam especificamente o tema de interesse deste trabalho, o ciclo celular e a meiose. Outros tópicos do programa dessa disciplina são: a teoria cromossômica da herança, os padrões de herança, a Genética de microrganismos e a natureza e funcionamento do material genético. Assim, para a avaliação da aprendizagem conceitual utilizando o ICM é indispensável que o estudante de Biologia tenha cursado e sido aprovado em Genética I.

Na Genética II, disciplina do sexto período, o foco é dado ao estudo das mutações gênicas e cromossômicas, aspectos moleculares da recombinação gênica, controle da expressão gênica, genética de populações, bases da variação e mecanismos de evolução. O tratamento de temas mais avançados exige do estudante uma base teórica prévia. Ideias novas apresentadas ao estudante nessa fase do curso irão interagir com aquilo que o graduando já estudou. Assim, o conhecimento construído na disciplina Genética I, como a meiose, dará significado a conteúdos novos que foram apresentados à turma na Genética II, como aneuploidias. Logo, o conteúdo meiose se torna ainda mais estável e diferenciado (MOREIRA, 2012; AUSUBEL, 1963). Portanto, o estudante que cursou e foi aprovado em Genética I e II está ainda mais preparado para realizar o ICM.

Em outras disciplinas, além de Genética I e II, os estudantes estudam o processo de meiose e conceitos relacionados em diferentes contextos. Por exemplo, em Embriologia, disciplina do quarto período, se estuda a gametogênese, em que o evento fundamental é a meiose, na disciplina Biologia molecular (quinto período) se estuda a replicação do DNA, na disciplina Laboratório de Ensino em Genética se aplica o conhecimento genético no estudo de intervenções pedagógicas e, possivelmente, em outras disciplinas optativas o conteúdo pode ser abordado.

3.3. Instrumento de Coleta de Dados

Foram selecionados 12 itens do Inventário Conceitual de Meiose (ICM) para compor o instrumento de coleta de dados (Anexo B). Embora seja recomendado o uso completo do ICM, também é possível utilizar um conjunto específico de itens para monitorar a aprendizagem dos estudantes (KALAS et al., 2013).

Os itens do ICM exigem habilidades cognitivas de níveis variados, sendo nove de aplicação (nível de Bloom III), cinco de compreensão (II), uma de conhecimento (I); e a habilidade cognitiva de nível mais alto testada, a de análise (IV), aparece em dois itens. Assim, apenas 35% dos itens do inventário são de habilidades cognitivas de ordem inferior. Em outras palavras, são itens que requerem do estudante apenas lembrar informações memorizadas. Para detectar os diferentes níveis cognitivos alcançados pelos sujeitos testados a respeito de um conceito particular foram incluídas na tarefa itens de diferentes níveis de Bloom, como o item 1 e 2 (Anexo B), ambos da categoria conceitual Ploidia Celular e nível de habilidade cognitiva II (compreensão) e III (aplicação), respectivamente. A seleção

de itens de níveis de habilidades cognitivas variados permite identificar estudantes com potencial de explicar com as próprias palavras determinado conceito, seja na forma escrita, oral ou por meio de diagramas, porém que não sabem utilizar a informação compreendida em contextos novos (CROWE; DIRKS; WENDEROTH, 2008).

Outra variável, além do nível cognitivo de complexidade, é o índice de dificuldade (ID) que é a razão entre estudantes que responderam corretamente ao item e o total de estudantes que responderam o item. Logo, o ID representa a proporção de acertos variando de 0 a 1. Quanto mais próximo de zero, menor é o número de acertos, e quanto mais próximo de 1, maior é o retorno de respostas corretas. Logo, quanto menor a porcentagem de acerto, maior o grau de dificuldade do item (BORGATTO; ANDRADE, 2012; VILARINHO, 2015). Foram inseridos no instrumento de pesquisa itens do ICM de baixo, médio e alto ID (Quadro 1). Assim, foi possível testar diferentes níveis cognitivos em variados níveis de dificuldade sobre conceitos relacionados à meiose.

Itens de diferentes valores de ID são importantes para distinguir o desempenho dos estudantes, como identificar estudantes que adquiriram um entendimento conceitual mais profundo e, especialmente os itens de baixo ID, podem servir como controle interno, identificando estudantes que podem estar tentando adivinhar as respostas ou mesmo identificar dificuldades mais graves na aprendizagem (KALAS et al., 2013). Pode ser detectada a tentativa de “adivinhar” a resposta quando o estudante acerta um item de alto ID e erra uma de baixo ID, sendo ambos da mesma categoria conceitual.

Foram selecionados do ICM itens de múltipla escolha do tipo resposta simples e multi-resposta. Nestas o estudante deveria selecionar uma ou mais opções corretas dentre os distratores. Itens no formato multi-resposta possuem um índice de dificuldade maior do que itens de resposta única e oferece, à semelhança dos itens abertos, uma visão ampla dos processos cognitivos do sujeito testado. Por isso, quando o uso de itens abertos não é prático, itens no formato “x de 4”, como é o caso do ICM, devem ser preferencialmente utilizados (KUBINGER; GOTTSCHALL, 2007).

Quadro 3: Caracterização dos itens selecionados do ICM. Foram selecionados 12 itens do ICM que testam diferentes conceitos associados à meiose. Os itens são classificados de acordo com a Taxonomia de Bloom do Domínio Cognitivo, de Compreensão (II) à Análise (IV). O índice de dificuldade do item representa a proporção de acertos alcançada pelos estudantes durante o processo de elaboração do ICM.

	Conceito(s) testado(s)	Nível de Bloom	Índice de dificuldade
1	Ploidia	II- Compreensão	0,37
2	Ploidia	III- Aplicação	0,54
3	Ploidia	III - Aplicação	0,48
4	Integração: ploidia, estrutura dos cromossomos, alelos e genótipos.	IV- Análise	0,63
5	Representação dos cromossomos, relação entre a estrutura dos cromossomos e a replicação do DNA.	II-III Compreensão- Aplicação	0,45
6	Relação entre replicação do DNA, número de cromossomos e ploidia.	II- Compreensão	0,66
7	Relação entre a estrutura do cromossomo, representação dos cromossomos e DNA.	II-III Compreensão- Aplicação	0,38
8	Número de cromossomos e representação dos cromossomos (“o que conta como um cromossomo”).	III - Aplicação	0,25
9	Número de cromossomos e representação dos cromossomos (“o que conta como um cromossomo”).	III - Aplicação	0,09
10	Eventos chave da meiose (segregação de cromátides irmãs e consequências do <i>crossing over</i>).	III - Aplicação	0,30
11	Eventos chave da meiose (alinhamento de pares homólogos).	III - Aplicação	0,22
12	Formação de gametas, segregação de alelos e cromossomos.	III-IV – Aplicação – Análise	0,39

Fonte: adaptado de Kalas et al. (2013).

3.4. Aplicação do instrumento

Os participantes foram testados sem que houvesse qualquer preparação especial baseada nas concepções equivocadas comuns que o instrumento de coleta de dados aborda. Previamente à aplicação do ICM adaptado, os estudantes foram informados sobre o projeto de pesquisa e a importância do trabalho para o progresso da área de ensino em Genética. Essa comunicação ocorreu via e-mail, no qual um link de acesso a um vídeo explicativo sobre este trabalho foi disponibilizado. A instrução inicial teve como objetivo motivar os estudantes a participarem seriamente deste estudo. Por fim, os estudantes foram avisados do caráter voluntário, confidencial e não avaliativo desta pesquisa. O tempo de resposta estimado foi de 10 a 15 minutos.

Seguindo a regulamentação sobre aspectos éticos em pesquisa com seres humanos, o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido - TCLE (Apêndice A) - foi apresentado a cada estudante juntamente com o ICM (Anexo B) a partir de um documento na plataforma *Google Forms* (<https://forms.gle/9qjQKFvYpqUMY8tV6>). A aplicação ocorreu de forma remota, em setembro de 2020, devido à pandemia de COVID-19. Os links de acesso ao ICM e ao vídeo foram encaminhados ao e-mail dos estudantes com a colaboração dos professores responsáveis por disciplinas do curso de Ciências Biológicas.

3.5. Análise quantitativa

3.5.1. Regra de pontuação

A pontuação dos itens foi atribuída dicotomicamente: 1 ponto para itens corretos e 0 para itens incorretos. Assim, não foi atribuída pontuação parcial para respostas parcialmente corretas em itens do tipo multi-resposta, apesar de existirem outros métodos de avaliação (TSAI; SUEN, 1993). A pontuação 1 foi atribuída a itens desse formato apenas se

selecionadas todas as alternativas corretas e nenhuma alternativa incorreta (KUBINGER; GOTTSCHALL, 2007).

A rigorosa regra de pontuação se justifica uma vez que o objetivo primário da aplicação do ICM foi identificar equívocos comuns, a persistência destes e o quanto os pesquisados se aproximaram do que é considerado cientificamente aceito por meio da combinação de alternativas assinaladas. Além disso, objetivou-se analisar o desempenho geral, e não individual dos estudantes, e verificar se houve um entendimento profundo, e não parcial, sobre os conceitos avaliados. A regra de pontuação deveria ser repensada se o desempenho do graduando fosse interferir nas notas no curso, por exemplo (KALAS et al., 2013).

3.5.2. Distribuição de respostas por item

Os dados coletados a partir da aplicação do ICM adaptado foram analisados utilizando o programa Excel. Para cada grupo amostral foi adaptada uma planilha em que foi calculada a frequência em que cada alternativa foi assinalada ou a frequência em que combinações de alternativas foram assinaladas em itens do formato x de 4. Pelo percentual de seleção das opções A, B, C e D ou de combinações destas (a+b, a+b+d, a+c...) foi possível identificar o percentual de estudantes que responderam corretamente ao item, padrões de respostas incorretas e itens cuja distribuição de respostas selecionadas mais se aproximavam da visão cientificamente aceita.

3.5.3. Análise estatística

Para comparar o desempenho geral das duas amostras independentes de estudantes no ICM adaptado, após o teste de normalidade dos dados, decidiu-se utilizar o teste não-paramétrico de Mann-Whitney. Não foi possível utilizar o teste-t, pois os requisitos para sua aplicação não foram atendidos. Já para verificar se a proporção de acertos entre os veteranos foi maior que a

proporção de acertos entre os calouros em cada item foi utilizado o Teste Exato de Fisher. As análises estatísticas e os gráficos foram desenvolvidos no programa GraphPad Prism versão 8.

3.5.4. Distribuição de respostas e categorização

Após o cálculo da frequência em que cada alternativa foi selecionada em cada item, ou que combinações de alternativas foram selecionadas, com o objetivo de identificar a preferência por distratores específicos em detrimento da(s) alternativa(s) cientificamente aceita(s), os itens foram classificados na seguinte categorização proposta por Smith e Knight (2012):

1. Nenhuma dificuldade óbvia: se 70% ou mais estudantes responderam a determinado item corretamente.
2. Nenhuma ideia incorreta específica: menos de 70% dos estudantes responderam corretamente a um item, mas nenhuma alternativa incorreta específica ou combinação específica de distratores foi selecionada preferencialmente com relação às demais alternativas ou combinações possíveis.
3. Ideia incorreta comum: menos de 70% dos estudantes responderam a um item corretamente e mais de 30% selecionaram preferencialmente um distrator específico ou uma combinação específica de distratores. Essa resposta incorreta específica selecionada por 30% ou mais estudantes foi denominada **Concepção Equivocada Mais Comum (CEMC)**.

3.6. Entrevistas cognitivas

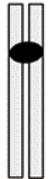
Entrevistas constituem uma estratégia que visa coletar “dados descritivos na linguagem do próprio sujeito permitindo ao investigador desenvolver intuitivamente uma ideia sobre a maneira como os sujeitos interpretam aspectos do mundo” (BIKLEN; BODGAN, 1994, p. 134). Com o objetivo de entender os caminhos cognitivos percorridos pelos respondentes do

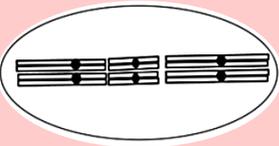
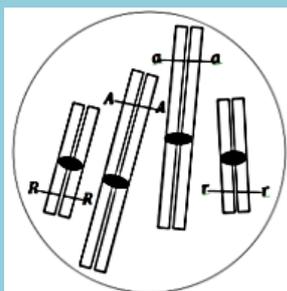
ICM adaptado, onze estudantes que participaram do preenchimento do ICM foram convidados para a etapa de entrevistas.

As entrevistas foram realizadas entre os dias 14 e 28/06/2021, conduzidas por meio de uma plataforma de videoconferência (*Zoom meetings*) e foram gravadas, com consentimento dos estudantes, para as análises posteriores. Foi adotado o seguinte protocolo: convite via e-mail para participação das entrevistas; em caso de aceite, envio do link da videoconferência; entrada do estudante na reunião; explicação da importância e objetivos do projeto de pesquisa; aplicação de sete itens selecionados do ICM; *feedback* ao estudante (explicação dos erros e acertos); transcrição das verbalizações e análise dos transcritos.

As entrevistas foram do tipo semiestruturadas, seguindo um roteiro pré-definido e fazendo as adaptações necessárias (LÜDKE; ANDRÉ, 2018). O roteiro de entrevista (ANEXO C) foi elaborado a partir da seleção de sete itens do instrumento de coleta de dados, nos quais foram identificadas concepções equivocadas entre os estudantes no primeiro momento da pesquisa (Quadro 6 e Quadro 7). Os itens selecionados são das categorias II e III (Quadro 5), em que os estudantes tiveram um desempenho abaixo de 70% de acerto, e são itens que abrangem os conceitos testados no ICM adaptado, os quais são listados no Quadro 3. O quadro de entrevista (Quadro 4) apresenta o resumo dos itens selecionados nesta etapa, as habilidades cognitivas requeridas em cada item, os objetivos, i.e., os conhecimentos e habilidades que se pretende avaliar no item, e as hipóteses sobre as concepções equivocadas compartilhadas entre os respondentes do ICM, formuladas a partir da interpretação da combinação de distratores assinalados.

Quadro 4: Quadro de entrevistas. O quadro mostra a seleção de sete itens do ICM que compuseram o roteiro de entrevista, bem como as informações sobre esses itens, como conceitos avaliados, nível de habilidade cognitiva, descrição das habilidades que foram avaliadas e a hipótese. Esta se refere às concepções equivocadas detectadas na etapa quantitativa deste projeto e foi formulada a partir da interpretação de distratores assinalados no ICM. Em azul estão os itens com uma concepção equivocada mais comum; em rosa estão os itens com ampla distribuição de distratores.

RESUMO DO ITEM	CATEGORIA CONCEITUAL	NÍVEL DE BLOOM	OBJETIVO	HIPÓTESE
1. O que diferencia todas as células haploides de todas as células diploides?	Ploidia	II- Compreensão	Avaliar a capacidade de <i>distinguir</i> e <i>generalizar</i> os conceitos diploide e haploide	O número absoluto de cromossomos determina a ploidia.
4. Selecione o diagrama de uma célula de uma planta diploide com total de dois cromossomos por célula e genótipo AaBbDd.	Integração: ploidia, estrutura dos cromossomo, alelos e genótipos.	IV- Análise	Avaliar a capacidade de <i>relacionar</i> conceitos genéticos, como número e estrutura dos cromossomos, ploidia alelos e genótipo; e entender a estrutura final de uma célula.	Cromátides irmãs contam como cromossomos individuais.
5. Esta imagem representa um: 	Representação dos cromossomos. Relação entre a estrutura dos cromossomos e a replicação do DNA	II-III Compreensão- Aplicação	Avaliar a capacidade de <i>explicar</i> a estrutura de um cromossomo em uma representação pictórica e aplicar conhecimentos associados ao ciclo celular, como replicação do DNA e ploidia.	Desconhecem a relação entre a replicação do DNA e cromátides irmãs.
6. A replicação do DNA resulta em um aumento no (a):	Relação entre replicação do DNA, número de cromossomos e ploidia.	II- compreensão	Avaliar a capacidade de <i>reconhecer</i> as implicações da replicação do DNA sobre o número dos cromossomos e a ploidia celular.	A replicação do DNA altera a ploidia celular.
8. Selecione quais das células representadas abaixo contêm um total de oito cromossomos.	Número e representação dos cromossomos	III - Aplicação	Avaliar a capacidade de <i>empregar</i> conceitos, como número,	Uma cromátide é um cromossomo.

			estrutura e representação dos cromossomos, em um diagrama.	
<p>11. O diagrama abaixo provavelmente representa os cromossomos de uma célula na metáfase da</p> 	Eventos chave da meiose (alinhamento de pares homólogos).	III - Aplicação	Avaliar a capacidade de reconhecer um evento chave da meiose I e aplicar o conhecimento em um diagrama.	Cromossomos homólogos aparecem pareados tanto na metáfase da mitose como na metáfase da meiose.
<p>12. A célula mãe representada abaixo sofre uma meiose I e uma meiose II normais, produzindo quatro células filhas. Selecione quais células filhas poderiam ser.</p> 	Formação de gametas, segregação de alelos e cromossomos	III-IV- Aplicação- Análise	Avaliar a capacidade de relacionar conhecimento, como segregação de homólogos e cromátides irmãs, ploidia, estrutura dos cromossomos, disposição dos alelos gênicos, etc., para entender os produtos finais da meiose; aplicar os conhecimentos em diagramações.	Geneticamente, um gameta se parece com uma célula pós-mitótica

Foi realizada neste trabalho a técnica de entrevista cognitiva (*cognitive interviewing*), desenvolvida na década de 80 para avaliar a qualidade de itens e identificar problemas durante o desenvolvimento de questionários (MEDEIROS et al., 2017). Essa técnica se trata da administração de itens de pesquisa com o objetivo de coletar informações verbais adicionais dos respondentes de um teste. Esse material verbal pode ser: (1) explicações dos entrevistados sobre como eles construíram suas respostas, (2) explicações de como eles interpretaram os itens, (3) relatos de quaisquer dificuldades que eles tiveram ao resolver os itens e (4) qualquer outra informação em que basearam suas respostas. Há duas formas de se obter o material verbal na entrevista cognitiva: por meio do protocolo verbal *think aloud* (“pensar em voz alta”) e por “sondagem” (*probing*). No primeiro caso, o entrevistador interfere minimamente na entrevista, oferece instruções mais gerais e incentiva o entrevistado a continuar falando. O entrevistado, por sua vez, expõe livremente o seu raciocínio em voz alta enquanto resolve o

item. No segundo caso, as entrevistas consistem no uso de questões explícitas, pré-definidas em um roteiro. Ademais, o entrevistador é mais proativo e pode fazer perguntas diretas solicitando que o entrevistado explique suas respostas (MEDEIROS et al., 2017). Neste trabalho foi utilizada a metodologia de sondagem (*probing*) para compreender o raciocínio utilizado na construção das respostas aos itens.

A realização de entrevistas se justifica devido às limitações em avaliar o raciocínio empregado pelos estudantes ao resolver itens fechados, como a impossibilidade em avaliar o domínio de conceitos e da linguagem científica e a habilidade de elaborar e comunicar explicações científicas válidas (NEHM; HA; MAYFIELD, 2012), apesar, em contrapartida, da maior facilidade em administrar os dados coletados por instrumentos de múltipla-escolha quando se testa um número maior de participantes. O diálogo direto com os estudantes permitiu mitigar as limitações do instrumento de múltipla escolha e permitiu entender as causas das dificuldades encontradas na compreensão de conceitos, não apenas identificá-las.

3.7. Análise de conteúdo

Uma vez encerrada a coleta de dados foi feita a preparação do material para análise, como a transcrição das entrevistas e a realização da análise de conteúdo. Esta, segundo Flick (2013), tem por objetivo “classificar o conteúdo dos textos alocando as declarações, sentenças ou palavras a um sistema de categorias”. A categorização se trata em classificar elementos por diferenciação e reagrupamento (segundo semelhanças) por meio de critérios definidos antecipadamente (BARDIN, 1997, p. 117). Assim, à medida que se lê um conjunto de dados é possível encontrar padrões no discurso dos estudantes, como nas palavras usadas, nas frases, na forma de pensar (BIKLEN e BODGAN, 1994, p. 221). O sistema de codificação emerge a partir desses padrões identificados entre os dados descritivos. Palavras ou frases representam os padrões formando justamente as categorias de codificação.

A análise de conteúdo é dividida em três fases, a primeira fase (pré-análise) envolve a leitura flutuante (i.e., um primeiro contato com as entrevistas transcritas), a preparação do material (reunião das gravações), organização do material (recortes dos transcritos de acordo com perguntas norteadoras) e a formulação de hipóteses e objetivos a partir da leitura inicial dos dados. A segunda fase, a exploração do material, é o momento em que se faz recortes no texto das entrevistas em unidades de registro comparáveis (palavras, frases, parágrafos; grupo de elementos com características comuns), as quais são agrupadas em um sistema de categorias. Os trechos recortados que expressam as categorias podem confirmar ou modificar as hipóteses e informações que constam nos referenciais teóricos. A terceira fase, o tratamento dos resultados, se trata da interpretação e inferência, que consistem em captar pensamentos manifestos e latentes com respaldo da literatura, transformando dados brutos em significativos (BARDIN, 1997).

3.8. Considerações éticas

Esta pesquisa foi submetida à análise do Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais, sendo aprovada pelo parecer consubstanciado 4.068.550. Conforme a resolução 196/96 do Conselho Nacional de Saúde, os aspectos éticos foram respeitados. A autorização para aplicação do inventário e realização das entrevistas foi obtida por meio do Termo de Consentimento Livre Esclarecido (Apêndice A), no qual constavam os objetivos da pesquisa, os direitos dos participantes, os contatos das pesquisadoras responsáveis para quaisquer esclarecimentos e o caráter voluntário e sigiloso do estudo. O documento de aprovação do COEP UFMG consta no Anexo A.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

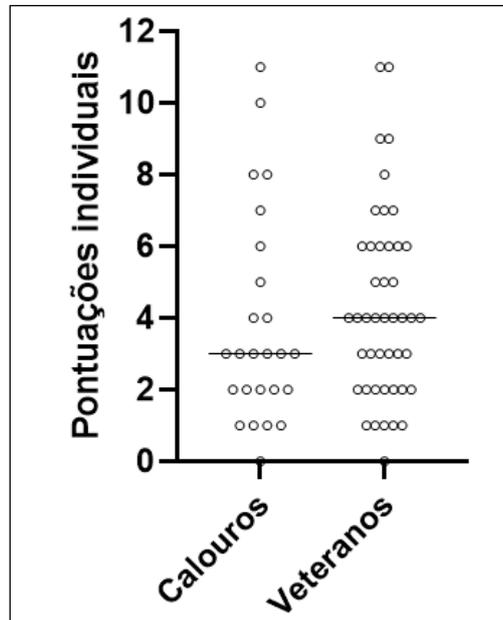
Inicialmente serão apresentados os resultados quantitativos, a análise das respostas de 70 estudantes ao ICM e, em seguida, aqueles advindos da entrevista individual com 12 destes estudantes, a fim de aprofundar o entendimento sobre as suas escolhas no ICM. É apresentada a análise de conteúdo das verbalizações em três etapas: transcrição das entrevistas, categorização de acordo com o tema que abrange os transcritos e interpretação com respaldo da literatura.

4.1 Desempenho Geral

Neste tópico é apresentado o desempenho geral dos dois grupos de estudantes desta pesquisa, em que os calouros representaram 25 indivíduos e os veteranos, 45. Por meio da pontuação individual obtida por cada pesquisado no ICM foi calculada a pontuação média dos calouros, que foi 3,8 pontos de 12 (ou 31,6%), e dos veteranos, 4,3 pontos de 12 (ou 35,6 %).

Por meio da [Figura 3](#) é possível notar que o desempenho individual dos estudantes de ambos os grupos foi predominantemente de médio a baixo, mesmo entre os veteranos, em que 70% destes são estudantes do 5º ao 12º período da graduação, já tendo cursado, além de Genética I (2º período), outras disciplinas em que a divisão meiótica e conceitos associados são trabalhados, como Biologia celular (1º período), Embriologia (4º período), Biologia Molecular (4º período) e Genética II (5º e 6º período).

Figura 3: Distribuição das pontuações individuais obtidas no ICM pelos calouros (n=25) e veteranos (n=45). Cada círculo representa um indivíduo e o traço indica a mediana.



Ao comparar o desempenho geral das duas amostras independentes de estudantes por meio do teste não-paramétrico de Mann-Whitney, o teste não indicou uma separação, mas sim um entrelaçamento entre os dados dos dois grupos. Ao nível de significância de 5%, a hipótese nula não foi rejeitada ($p > 0,05$), concluindo-se pela semelhança entre as medianas e distribuição dos dados entre as duas amostras de estudantes.

4.2 Comparação de desempenho em cada item

Neste tópico é apresentada a comparação do desempenho dos calouros e veteranos em cada item do ICM. A proporção de respostas corretas para cada item foi calculada utilizando os dados de todos os 70 estudantes (Figura 6). Para todos os itens a diferença entre a proporção de estudantes veteranos respondendo a um item corretamente e a proporção de calouros respondendo a um item corretamente foi insignificante (Teste Exato de Fisher, $P > 0,05$). A similaridade de resultados coletados indica que estudantes novatos e experientes possuem níveis semelhantes de compreensão a respeito dos conceitos pesquisados. Todos os itens

foram desafiadores para ambos os grupos, exceto os itens 7 (sobre o número de moléculas de DNA em um cromossomo) e 9 (sobre o número de cromossomos em uma célula), nos quais o desempenho dos estudantes foi melhor (vide Anexo B, p. 102).

4.3 Categorização e identificação concepções equivocadas mais comuns (CEMC)

Conforme descrito no tópico 3.5.4, os itens do ICM foram agrupados em 3 categorias distintas com base na distribuição de respostas obtidas. O Quadro 5 indica essa categorização, que envolve: I) nenhuma dificuldade óbvia; II) ideia incorreta comum e III) nenhuma ideia incorreta específica. A codificação por cor deve auxiliar a leitura da análise que se seguirá nos Quadro 6 e Quadro 7, onde são agrupadas as respostas.

Quadro 5: Categorização dos itens baseada na distribuição de respostas. As mesmas cores das categorias são utilizadas nos quadros 6 e 7 onde são agrupadas as respostas. Verde - itens com alta proporção de respostas corretas; Azul - itens com uma concepção equivocada mais comum; Rosa - itens com ampla distribuição de distratores.

Categoria I: Nenhuma dificuldade óbvia	70% ou mais estudantes responderam a determinado item corretamente.
Categoria II: Ideia incorreta comum	Menos de 70% dos estudantes responderam a um item corretamente e mais de 30% selecionaram preferencialmente uma resposta incorreta específica, denominada <u>Concepção Equivocada Mais Comum (CEMC)</u> .
Categoria III: Nenhuma ideia incorreta específica	Menos de 70% dos estudantes responderam corretamente a um item, mas nenhuma resposta incorreta específica foi preferencialmente selecionada.

A categorização dos itens respondidos, a concepção equivocada frequentemente selecionada e a porcentagem de estudantes que selecionaram essa concepção são mostradas a seguir, separadamente para calouros (Quadro 6) e veteranos (Quadro 7). O tipo do item também é

indicado, sendo os itens de múltipla escolha de resposta simples representados por RS e os itens de múltipla escolha do tipo multi-resposta, por RM.

Quadro 6: Agrupamento de itens do ICM em três categorias diferentes com base na distribuição de respostas obtidas entre os calouros (n=25)

Item			Concepções equivocadas	Frequência de seleção das concepções equivocadas
	RS	RM		
9	x		Confusão entre cromossomos e cromátides.	20%
1	x		O número absoluto de cromossomos determina a ploidia da célula.	40%
2		x	i. Células haploides não podem ter cromossomos compostos por duas cromátides irmãs. ii. Confusão entre cromátides irmãs e cromossomos homólogos.	60%
3		x	Uma célula é considerada diploide se seus cromossomos são compostos por cromátides irmãs	56%
5		x	Compreende a relação entre cromossomos e cromátides irmãs, mas desconhece a relação disso com a replicação do DNA	48%
7		x	O DNA antes da replicação é de fita simples, o diagrama é após a replicação. Se houver duas fitas complementares, o DNA torna-se de fita dupla	40%
11	x		Cromossomos homólogos aparecem pareados tanto na metáfase da mitose como na metáfase da meiose	40%
12		x	Confusão entre meiose e mitose: ideia que, geneticamente, um gameta se parece com uma célula pós-mitótica	52%
4		x	Duas cromátides irmãs são dois cromossomos	28%
			As células diploides são aquelas em que os cromossomos são compostos por cromátides irmãs e genótipos A/a	24%
6		x	A replicação do DNA altera a ploidia da célula	24%
8		x	Uma cromátide é um cromossomo	20%
10	x		As cromátides irmãs são diferentes, portanto, deve ser meiose (✓); cromátides irmãs segregam na meiose I.	24%

RS Itens de múltipla escolha resposta simples: de quatro opções de resposta apenas uma deve ser selecionada.
 RM Itens de múltipla escolha do tipo multi-resposta: de quatro opções de resposta qualquer número pode ser selecionado.

Cor verde: I) nenhuma dificuldade óbvia; azul: II) ideia incorreta comum; rosa: III) nenhuma ideia incorreta específica.

Quadro 7: Agrupamento de itens do ICM em três categorias diferentes com base na distribuição das respostas obtidas entre os veteranos (n=45)

Item		Concepções equivocadas	Frequência de seleção das concepções equivocadas	
RS	RM			
7		x O DNA antes da replicação é de fita simples, o diagrama é após a replicação. Se houver duas fitas complementares, o DNA torna-se de fita dupla.	16%	
1	x		60%	
2		x i. Células haploides não podem ter cromossomos compostos por duas cromátides irmãs. ii. Confusão entre cromátides irmãs e cromossomos homólogos	71%	
3		x Uma célula é considerada diploide se seus cromossomos são compostos por cromátides irmãs.	71%	
4		x Duas cromátides irmãs são dois cromossomos	31%	
5		x Compreende a relação entre cromossomos e cromátides irmãs, mas desconhece a relação disso com a replicação do DNA	47%	
12		x Confusão entre meiose e mitose: ideia que, geneticamente, um gameta se parece com uma célula pós-mitótica	53%	
6		x Ampla distribuição de respostas	---	
8		x Ampla distribuição de respostas	---	
9	x		Confusão entre um par de homólogos e um cromossomo ou ideia de que o “número de cromossomos” se refere ao número haploide.	18%
			Confusão entre um cromossomo e uma cromátide.	16%
10	x		As cromátides irmãs são diferentes, portanto, deve ser meiose (\surd); cromátides irmãs segregam na meiose I.	20%
11	x		Cromossomos homólogos aparecem pareados na metáfase da mitose.	20%

RS Itens de múltipla escolha resposta simples: de quatro opções de resposta apenas uma deve ser selecionada.
RM Itens de múltipla escolha do tipo multi-resposta: de quatro opções de resposta qualquer número pode ser selecionado.

Cor verde: I) nenhuma dificuldade óbvia; azul: II) ideia incorreta comum; rosa: III) nenhuma ideia incorreta específica.

4.4 Frequência de seleção das CEMC em itens da categoria II

Para se determinar se os estudantes que escolheram a concepção equivocada mais comum (CEMC) em um item do ICM tendiam a selecionar a CEMC também em outros itens, a frequência com que cada estudante selecionou essa resposta incorreta mais comum foi examinada. Entre os calouros, cerca de 76% dos estudantes escolheram de 2 a 5 CEMC, poucos participantes selecionaram apenas uma CEMC e nenhum deles selecionou a CEMC em todos os sete itens dessa categoria [Figura 4](#). Entre os veteranos, cerca de 80% selecionaram de 3 a 5 CEMC, poucos estudantes selecionaram a CEMC em apenas um item ou em todos os seis itens dessa categoria [Figura 5](#).

Figura 4: Frequência de calouros respondendo uma CEMC.

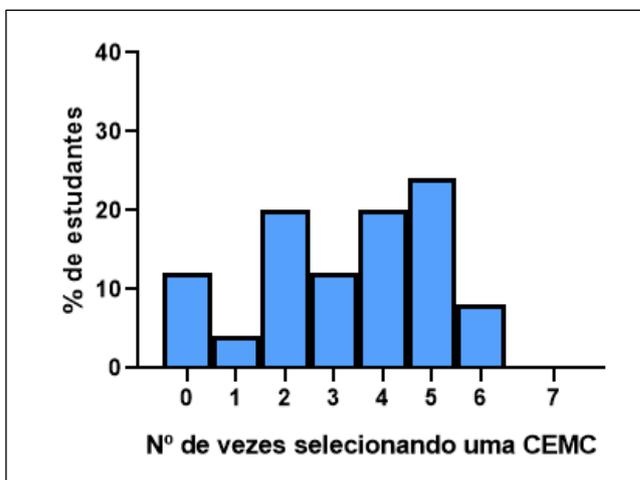
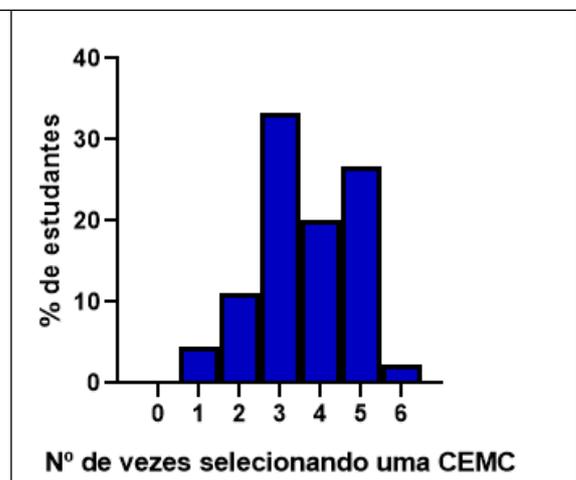


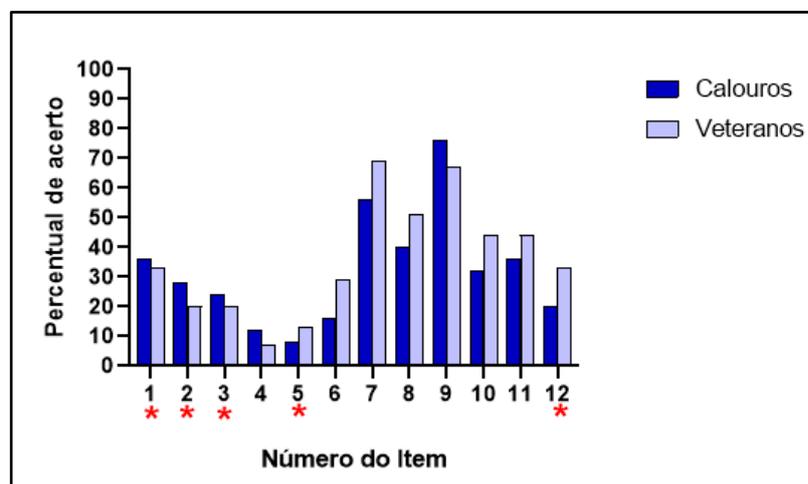
Figura 5: Frequência de veteranos respondendo uma CEMC.



4.5 Análise das concepções equivocadas mais comuns

Nesta seção serão discutidos os itens em que os estudantes tiveram um bom desempenho, os itens mais desafiadores e aqueles em que calouros e veteranos demonstraram preferência por distratores específicos, as CEMC. O desempenho dos calouros e dos veteranos nos 12 itens do instrumento de coleta de dados (Anexo B) é mostrado na [Figura 6](#):

Figura 6: Desempenho dos calouros e veteranos em todos os 12 itens selecionados do ICM (n=70 estudantes). Os itens com asterisco são aqueles em que calouros e veteranos compartilham as mesmas CEMC.



Nos itens 1, 2, 3, 4 e 9, sobre ploidia e número de cromossomos, o desempenho dos estudantes que recém chegaram à universidade e, portanto, estudaram genética e citologia apenas no ensino médio, foi superior comparado ao desempenho dos estudantes mais experientes. Contudo, essa diferença não foi significativa (teste Exato de Fisher, $P > 0,05$).

4.5.1. Itens de mais baixo índice de aproveitamento

Os itens 4 e 5 foram os mais desafiadores para os dois grupos de estudantes. No item 5 alguns estudantes demonstraram não saber distinguir conceitos como cromossomos e cromátides.

Outra parcela demonstrou compreender a relação entre cromossomos e cromátides, mas carece de conceitos referentes à origem das cromátides, i.e., a replicação do DNA, ou simplesmente não associa a meiose a esse evento chave do ciclo celular (47% dos veteranos e 48% dos calouros). Esses resultados são consistentes com a literatura, desde trabalhos mais antigos a mais recentes com estudantes de diferentes países. Brown (1990), analisou 614 representações da meiose feitas por estudantes britânicos e aproximadamente metade dos participantes da pesquisa representaram os cromossomos após a replicação do DNA incorretamente, como cromossomos com cromátides irmãs de cores diferentes, cromossomos não duplicados ou cromossomos com quatro cromátides cada. Guerra et al. (2020), em um estudo conduzido na UFMG com estudantes de licenciatura em Ciências Biológicas, observaram em diagramas de meiose, que o erro mais comum era a não representação dos cromossomos duplicados na intérfase, mas sim após essa fase, e a representação de cromátides irmãs com alelos em heterozigose na intérfase, não se atendendo para o fato de que as cromátides irmãs são idênticas nessa etapa. Ainda nesse estudo, apenas metade dos estudantes representaram a replicação do DNA corretamente; logo, pressupõe-se que os estudantes não compreendem os requisitos para que o processo de divisão celular ocorra. Etobro e Banjoko (2017), em um estudo conduzido na Universidade Estadual de Lagos, na Nigéria, com professores em formação, identificaram que 72% dos estudantes entendiam que o processo de replicação ocorria durante a divisão celular e 78% que a replicação é um processo exclusivo da meiose.

Os itens 1, 2, 3, e 4 são da mesma categoria conceitual (Ploidia). No entanto, o item 4 apresentou para os estudantes uma dificuldade proeminente comparada aos outros itens, o que pode ser explicado por esse item demandar dos estudantes a habilidade de análise (nível de Bloom IV). Neste caso, o item não exige apenas compreender o conceito de ploidia, mas, também, exige a capacidade de dividir o conteúdo em partes menores e identificar suas interrelações. Assim, o estudante deveria entender como o conceito de ploidia se associa a outros conceitos, como número de cromossomos, estrutura dos cromossomos (presença ou não de cromátides irmãs) e disposição dos alelos gênicos. Ademais, a habilidade de análise exige a compreensão da estrutura final do objeto de estudo, como a representação correta de uma célula diploide e haploide.

O desempenho dos estudantes cai à medida que são exigidas habilidades cognitivas de ordem superior (item 1 – compreensão > itens 2, 3 - aplicação > item 4 -análise), como mostra a [Figura 6](#). Os itens 2 e 3 exigem que os estudantes apliquem os seus conhecimentos sobre ploidia em novas situações, nesse caso, em representações diagramáticas. Já o item 1, de nível de habilidade cognitiva mais baixo, que exige dos estudantes apenas entender e dar significado ao conceito de ploidia, o desempenho foi melhor, apesar de ainda não satisfatório (proporção de acerto menor que 70%). Conclui-se que os estudantes alcançaram diferentes habilidades cognitivas sobre o conceito de ploidia, muitos compreendem o conceito, mas não sabem aplicá-lo em contextos novos ou relacioná-lo a outros conceitos. Na Taxonomia dos Objetivos Cognitivos de Bloom, para que o estudante alcance uma nova categoria na hierarquia de habilidades cognitivas é preciso que este tenha tido um desempenho adequado na categoria anterior, pois as habilidades novas utilizam capacidades adquiridas dos níveis anteriores (BLOOM et al., 1956; FERRAZ; BELHOT, 2010). Portanto, as categorias do domínio cognitivo têm uma relação de dependência entre si, dessa forma, somente após conhecer determinado assunto é possível aplicá-lo e assim sucessivamente. O que se observa a partir dos dados coletados é que os estudantes atingiram diferentes habilidades cognitivas sobre o conceito de ploidia.

Contudo, uma revisão da taxonomia original, proposta por Benjamin Bloom e colaboradores em 1956, foi divulgada em 2001 por um grupo de educadores, psicólogos e especialistas em currículo, testes, avaliações, etc. O grupo foi supervisionado por David Krathwohl, que participou da elaboração da taxonomia original. A revisão se fez necessária uma vez que, após quase 50 anos, a educação se desenvolveu, novos conceitos e tecnologias foram introduzidos nessa área (ANDERSON; KRATHWOHL; BLOOM, 2001).

A nova taxonomia mantém a estrutura hierárquica da taxonomia original, pois um nível seguinte é mais complexo que o nível anterior. Entretanto, as categorias não possuem uma relação de estrita dependência. No novo modelo assume-se a possibilidade de interpolação entre as categorias, uma vez que, para determinados conteúdos, é mais fácil para o estudante construir o conhecimento partindo de uma categoria mais complexa para uma categoria mais simples. Portanto, há uma maior flexibilidade na taxonomia revisada. Ademais, a

incorporação da subcategoria metacognição que, segundo Anderson, Krathwohl e Bloom (2001), é o conhecimento e a consciência sobre a própria cognição, permite que o estudante tenha autonomia e consiga transitar entre as categorias cognitivas a partir de comportamentos de autoaprendizagem. Ao analisar o padrão de respostas assinaladas nos itens 1 (nível de Bloom: compreensão), 2 e 3 (nível de Bloom: aplicação), todos da categoria conceitual ploidia, observa-se que alguns estudantes sabem aplicar o conceito de ploidia, mas não sabem explicá-lo; os estudantes transitam, portanto, em categorias mais complexas.

4.5.2. Itens com uma Concepção Equivocada Mais Comum

Os itens marcados com asterisco ([Figura 6](#)) são aqueles em que calouros e veteranos demonstraram preferência por distratores específicos, os quais representam as concepções equivocadas mais comuns (CEMC). Curiosamente, as CEMC compartilhadas pelos novatos e veteranos em cada um desses itens destacados são as mesmas, como mostra [Figura 7](#), apesar do momento do curso em que cada grupo se encontra e mesmo após as aulas da graduação, que abordam o tema com professores e estratégias didáticas diferentes. Carvalho (2020), ressalta que quando a complexidade do assunto não é tratada de forma real, o aprendizado não ocorre de forma satisfatória, apesar das diferentes metodologias adotadas para abordar o assunto de meiose.

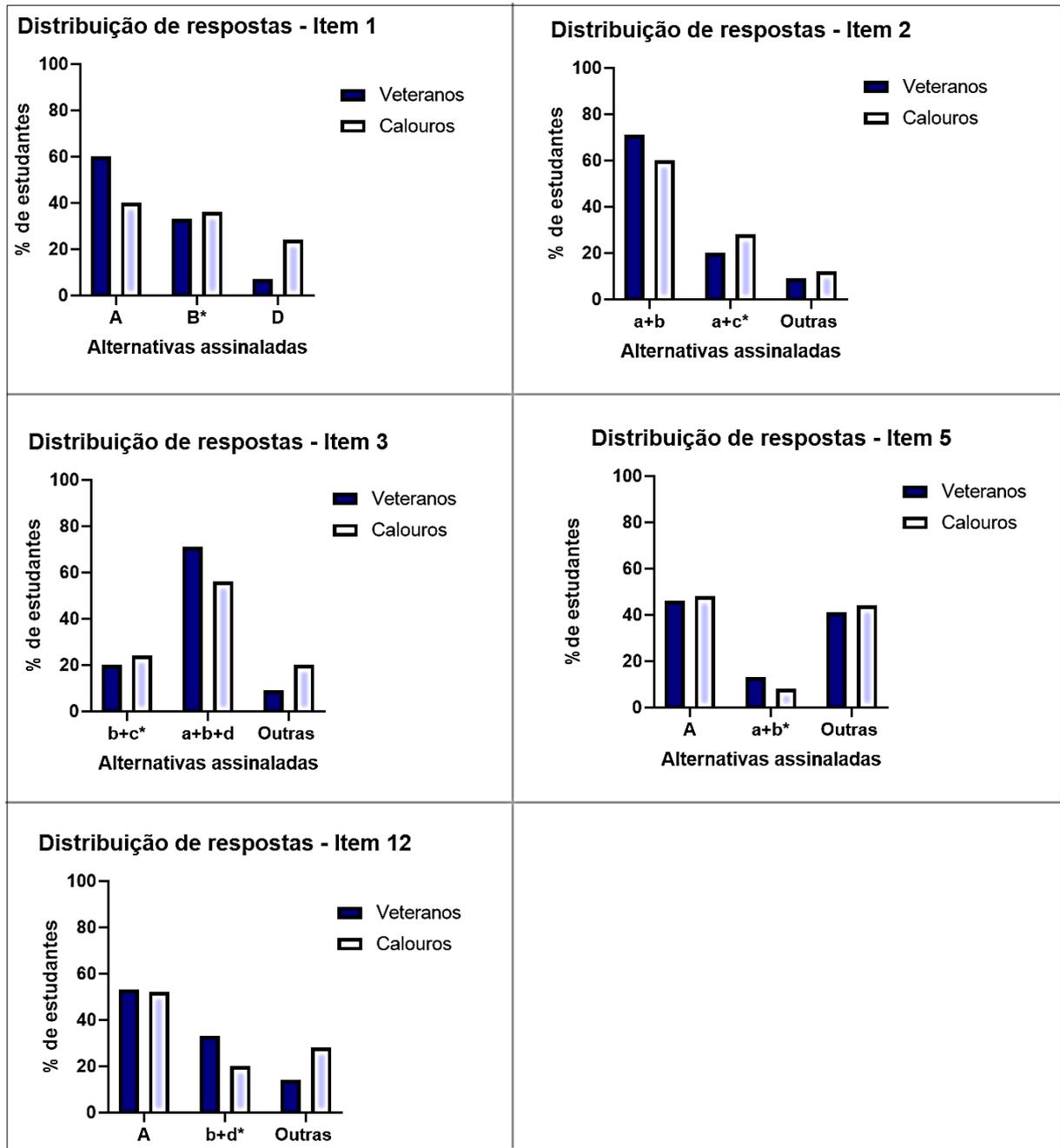
Os cinco itens nos quais ambos os grupos demonstraram preferência pelos mesmos distratores abordam conceitos fundamentais para o entendimento do processo de meiose: ploidia (itens 1, 2 e 3), estrutura dos cromossomos (item 5) e produtos da meiose (item 12). Os estudantes tendem a pensar que a ploidia da célula varia em função da estrutura dos cromossomos. Kindfield (1994), em um estudo conduzido na Universidade da Califórnia, e Guerra et al. (2020), em um estudo conduzido na UFMG, constataram que os estudantes compartilham a concepção supracitada sobre ploidia. Assim, cromossomos não replicados seriam típicos de células haploides. Já cromossomos compostos por cromátides irmãs, isto é, cromossomos replicados, seriam característicos de células diploides. Ainda, uma concepção comum é a de que o número absoluto de cromossomos determina a ploidia e as células diploides têm sempre

mais cromossomos do que células haploides, independente de qual espécie se refere. Os estudantes também confundem os produtos da mitose e da meiose, presumindo que um gameta se parece com uma célula pós-mitótica.

Algumas concepções podem representar simples ideias incorretas que serão superadas após o ensino formal. Contudo, a preferência pelas mesmas concepções equivocadas entre estudantes novatos e licenciandos, mesmo após as aulas da graduação, mostra que algumas concepções podem ser particularmente resistentes ao ensino. Estas poderão competir com conceitos cientificamente aceitos que serão introduzidos. Assim, o ciclo de propagação de concepções equivocadas, as quais não foram superadas pelo professor em sua formação, não é interrompido.

Os gráficos da [Figura 7](#) mostram a distribuição de respostas para as perguntas que ambas as amostras de estudantes demonstraram preferência pelos mesmos distratores, as CEMC. Estão representados os distratores assinalados e a opção correta indicada por um asterisco. Por exemplo, no item 1, a opção correta é a letra B* e o distrator preferencialmente assinalado pelos calouros e veteranos é a letra A.

Figura 7: Distribuição de respostas dos itens 1, 2, 3, 5 e 12 entre os calouros (azul claro) e veteranos (azul escuro). A resposta correta está indicada por um asterisco.



4.5.3. Itens com bom índice de aproveitamento

Apesar das concepções equivocadas identificadas, observou-se itens em que os estudantes tiveram um bom desempenho: o item 7, sobre a relação entre a estrutura dos cromossomos e o número de moléculas de DNA, e o item 9, sobre o número de cromossomos em um diagrama

(Figura 6). Contudo, no item 8, da mesma categoria conceitual do item 9, o desempenho dos estudantes foi mais baixo. Possivelmente, esse resultado se deve ao formato do item 8, do tipo multi-resposta, em que os estudantes deveriam selecionar todas as células com um determinado número de cromossomos. Itens desse formato possuem naturalmente uma complexidade maior. Apesar do bom desempenho no item 9, os estudantes demonstraram no item 8 o compartilhamento de concepções equivocadas sobre o que de fato conta como um cromossomo. Isto abrange, dificuldade em diferenciar cromossomos e cromátides (20% dos calouros) e a ideia de que cromossomos necessariamente devem conter cromátides irmãs para serem considerados cromossomos (18% dos veteranos).

A possibilidade de fazer entrevistas foi uma oportunidade de estudar os caminhos cognitivos que levaram os estudantes às escolhas discutidas no ICM adaptado. Itens de múltipla escolha permitem levantar hipóteses sobre a forma como os estudantes compreendem conceitos; as entrevistas permitem confirmar ou refutar tais hipóteses formuladas, além de trazer novas informações sobre o raciocínio utilizado pelo estudante.

4.6 Entrevistas Cognitivas

O convite para as entrevistas foi feito aos 70 estudantes dos quais apenas 12 responderam e se dispuseram a contribuir com este passo da pesquisa. A entrevista teve o objetivo de coletar informações verbais adicionais dos respondentes do ICM. Escolheu-se a metodologia de sondagem (*probing*), pois esta seria mais apropriada para compreender o raciocínio utilizado na construção das respostas aos itens. Os estudantes eram apresentados aos seus testes e de forma geral, era pedido que analisassem e explicassem o porquê da sua escolha anterior.

Os quadros 8, 9, 10 e 11 resumizam alguns dados coletados na etapa qualitativa deste projeto de pesquisa, dispondo as verbalizações e suas interpretações relacionando às concepções equivocadas mencionadas. Das falas transcritas emergiram quatro categorias: 1. Disposição dos Alelos Gênicos; 2. Estrutura dos Cromossomos; 3. Replicação do DNA; 4. Resultados da Meiose. Os enunciados dos itens estão resumidos na parte inicial de cada quadro. Cada categoria pode abranger um ou mais itens, como a categoria 2, que inclui os itens 1, 4, 5, 8 e 11. Os itens completos podem ser consultados no [ANEXO C](#). Na primeira coluna dos quadros constam as concepções equivocadas identificadas em cada conjunto de verbalizações transcritas, estas estão dispostas na segunda coluna de cada quadro. Na terceira coluna estão as interpretações das verbalizações. As interpretações estão posicionadas de forma alinhada às falas dos estudantes a que se referem. Cada estudante entrevistado está identificado com a letra “E” e um número.

O quadro 8 mostra o entendimento dos estudantes a respeito da distribuição de alelos gênicos nos cromossomos, assunto abordado no item 4 do ICM adaptado. Simultaneamente, o item 4 requer do estudante a integração de outros conceitos, como estrutura e número dos cromossomos, replicação do DNA e ploidia celular. Na etapa quantitativa desta pesquisa foi o item de mais baixo desempenho entre os graduandos, possivelmente por requerer o estabelecimento de conexões entre os conceitos genéticos (nível de Bloom: análise). A hipótese principal, a respeito das concepções equivocadas compartilhadas nesse item, formulada a partir dos dados coletados na etapa quantitativa, como mostra o [Quadro 4](#), era de

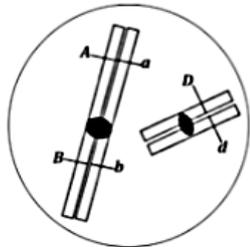
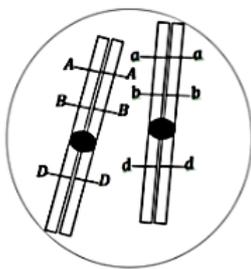
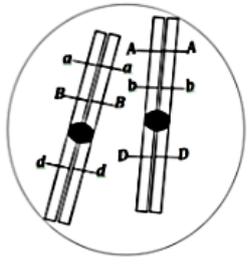
que cromátides irmãs contam como cromossomos individuais. Entretanto, outras concepções equivocadas também foram identificadas entre, aproximadamente, metade dos entrevistados, como “genótipos Aa significam que uma cromátide irmã deve ter o alelo “ A ” e a outra cromátide irmã o alelo “ a ””. Nesse sentido, quando um cromossomo duplicado com um alelo “ A ” em cada cromátide irmã e, no homólogo correspondente, com o alelo “ a ” em cada cromátide irmã era apresentado aos estudantes, alguns tendiam a pensar que o genótipo estaria duplicado, descrevendo, para esse *locus* gênico o genótipo $AAaa$ e não Aa como descrito no enunciado do item.

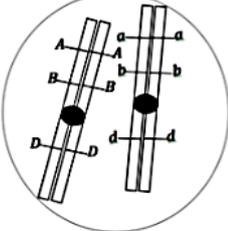
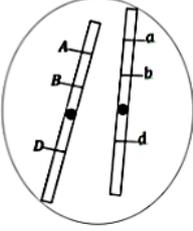
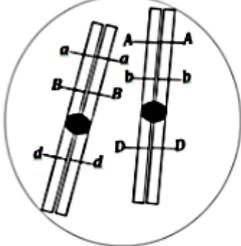
Outra concepção equivocada identificada era que “genótipos Aa significam que não pode haver uma combinação de alelos dominantes e recessivos no mesmo cromossomo”. Portanto, em um dos cromossomos deveriam estar dispostos os alelos dominantes A , B e D e no outro cromossomo, o homólogo, os alelos recessivos a , b e d . Guerra, Tavares e Vilas-Boas (2021, no prelo), discutem que a terminologia Genética, como o conceito de alelo, é, normalmente, introduzida nas aulas sobre as Leis de Mendel. Todavia, nem sempre o docente retoma a localização cromossômica dos alelos nessas aulas. Um exemplo é a utilização do quadrado de Punnet, em que os alelos são escritos no quadro mostrando o genótipo dos gametas e os resultados da fertilização (genótipo da prole) na parte interna da grade. Contudo, a localização desses alelos nos cromossomos e o processo de meiose não são, muitas vezes, retomados. O estudante pode, portanto, assumir um raciocínio mecanizado, com pouca ou nenhuma associação entre os conceitos envolvidos.

Guerra et al., (2020), ao analisar diagramações da meiose entre estudantes do curso de Ciências Biológicas da UFMG, identificaram dificuldades na compreensão de conceitos como heterozigose e alelos. Os estudantes desenharam células em que há cromossomos com um alelo dominante em uma de suas cromátides-irmãs e o recessivo na outra cromátide, semelhante à concepção equivocada detalhada no [Quadro 8](#). Em ambos os casos, os estudantes não se atentam para o fato que a replicação do DNA dá origem a cromátides-irmãs idênticas. Brown (1990), relata em seu estudo com universitários ingleses, que as representações dos alelos nos cromossomos envolvem erros semelhantes, como cromátides irmãs com alelos diferentes para o mesmo *locus* sem a ocorrência de permutação, ausência do

alelo em uma das cromátides irmãs e a não representação dos alelos em um homólogo do par. Belmiro, Diniz e Barros (2017), em um estudo conduzido com estudantes de um curso pré-vestibular em Minas Gerais em 2010, em sete salas com 30 estudantes provenientes de diferentes instituições de ensino públicas e privadas, demonstraram que, em uma aplicação de questionário sobre conceitos genéticos elementares, as questões sobre alelos gênicos tiveram o menor índice de acerto entre os estudantes. Os pesquisados não associam o termo alelo ao conceito de gene. Segundo os autores, é possível que tal concepção esteja associada ao desconhecimento da alelia gênica entre cromossomos homólogos. Outras concepções equivocadas são frequentemente relatadas em estudos que abordam o conceito de alelos, como as interações alélicas e a ideia de que alelos recessivos não são transcritos e traduzidos (SANT'ANNA et al., 2020). É evidente que o entendimento sobre os alelos ainda é um desafio entre estudantes de diferentes níveis de ensino. Sem um entendimento claro do conceito de alelos gênicos, genes, cromossomos homólogos, cromátides irmãs, ploidia e replicação do DNA, dificilmente o estudante entenderá a distribuição correta dos alelos nos cromossomos.

Quadro 8: Categorização de concepções equivocadas identificadas nas entrevistas. Categoria 1: disposição de alelos gênicos.

Categoria 1: Disposição dos Alelos Gênicos		
Item 4 (resumido): Selecione o diagrama de uma célula de uma planta diploide com total de dois cromossomos por célula e genótipo AaBbDd.		
Concepções equivocadas	Verbalizações	Interpretação das verbalizações
<p>Genótipos Aa significam que uma cromátide irmã deve ter o alelo "A" e a outra cromátide irmã o alelo "a".</p>	<p>E1 (Item 4): “Eu marcaria a [letra] A e a [letra] C, porque, por exemplo, na [letra] B e na [letra] D o genótipo poderia ser AABbDD e aqui está falando que é AaBbDd, aí foi por isso que eu pensei na [letra] A e na [letra] C”.</p> <p>E3 (Item 4): “Como que falou que o genótipo da planta é AaBbDd, na representação [da letra] B e [da letra] D eu acho que não corresponde a esse genótipo. É como se cada haplotipo [o estudante quis dizer alelo] estivesse duplicado. É como se ele fosse AAaBBbb, porque você tem quatro cromátides irmãs que falam que tem os mesmos genes. [...] eu acho que na [letra] B e na [letra] D eles estão duplicados. Eu acho que a [letra] A representaria melhor a célula que ele está falando”.</p> <p>E4 (Item 4): “Eu acredito que seja a letra A [...]. Na [letra] B e na [letra] D eles colocam os alelos AA no mesmo cromossomo, como se a informação estivesse tipo duplicada assim. [...] os cromossomos com as duas fitas e nessas duas fitas os alelos são iguais, AA e tem outra fita com aa, isso não faz muito sentido pra mim”.</p> <p>E2 (Item 4): “Cada alelo está em uma cromátide, só que no mesmo cromossomo [...]. Cada alelo está em uma cromátide, só que referente ao mesmo gene está em um mesmo cromossomo”.</p>	<p>A alternativa A mencionada pelos entrevistados é uma célula haploide com dois cromossomos. Em um dos cromossomos, em uma cromátide, estão os alelos A e B e na cromátide irmã os alelos a e b. No outro cromossomo, em uma cromátide está o alelo D e na cromátide irmã o alelo d.</p> <p>Item 4 Letra A</p>  <p>Na concepção dos estudantes E1, E3 e E4, nas letras B e D, o genótipo do organismo estaria duplicado, pois estão representadas células diploides com os homólogos duplicados. Assim, o genótipo de um organismo seria descrito incluindo os alelos de cada cromátide irmã. Logo, o genótipo das células com homólogos duplicados seria AAaBBbbDDdd.</p> <p>Item 4 - Letra B</p>  <p>Item 4 - Letra D</p>  <p>Para o estudante E2, o genótipo AaBbDd significa que os alelos de um gene devem ser dispostos em cromátides irmãs, como na letra A, nunca em cromossomos diferentes, como nas letras B, C e D, em que os alelos de um mesmo gene estão dispostos em cromossomos diferentes, os homólogos.</p>

<p>Genótipos Aa significam que não pode haver uma combinação de alelos dominantes e recessivos no mesmo cromossomo.</p>	<p>E6 (Item 4): “<i>Eu não sei se o [alelo] A e o [alelo] a eles ficam no mesmo cromossomo ou se eles ficam o [alelo] A em um cromossomo e o [alelo] a no outro. Então, na verdade, eu olhei pra [letra] C e eu pensei: “acho que talvez seja a [letra] C, porque tem o [alelo] A em um [cromossomo] e o [alelo] a em outro [cromossomo] e não tá duplicado nem nada”. Só que a [letra] B também tem um [alelo] A em um e o [alelo] a em outro e está duplicado. Então, talvez, as duas estejam certas. Eu acho que eu escolheria as duas”.</i></p> <p>Entrevistadora: “<i>e a [letra] D? Ela também tem um [alelo] a de um lado e um [alelo] A do outro, por que você acha que ela estaria errada?”</i></p> <p>E6: “<i>só que ela tá com eles [os alelos] separados, tem [os alelos] a, B e d no mesmo cromossomo.”</i></p> <p>E8 (Item 4): “<i>eu acredito que um dos cromossomos ele contém esses alelos dominantes enquanto o outro conteria esses alelos recessivos.”</i></p>	<p>Na concepção dos estudantes E6 e E8, os alelos gênicos dominantes devem estar distribuídos em um cromossomo e os alelos recessivos devem estar distribuídos no cromossomo homólogo correspondente, como mostra os diagramas das alternativas B e C abaixo.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;"> <p>Item 4 Letra B</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>Item 4 Letra C</p>  </div> </div> <p>Em contrapartida, na letra D representada abaixo, há alelos dominantes e recessivos em um mesmo cromossomo, o que estaria incorreto para os estudantes E6 e E8.</p> <div style="text-align: center;"> <p>Item 4 Letra D</p>  </div>
---	--	--

O [Quadro 9](#) reúne as concepções equivocadas compartilhadas pelos entrevistados sobre a categoria Estrutura dos Cromossomos. Sobre a relação entre cromossomos e cromátides-irmãs, três entrevistados consideravam que para cromossomos serem considerados cromossomos eles devem, obrigatoriamente, ser compostos por cromátides-irmãs, resultado também encontrado entre 18% dos veteranos na etapa quantitativa. Dikmenli (2010), em seu estudo conduzido com uma amostra de 124 licenciandos turcos, também identificou nas diagramações e na etapa de entrevistas, que os estudantes tendem a pensar que os cromossomos sempre serão compostos por cromátides-irmãs durante a divisão celular. Nesse raciocínio, o cromossomo normalmente é replicado. Guerra, Tavares e Vilas-Boas (2021, no prelo) destacam que há uma generalização no ensino da biologia de que o cromossomo seria uma estrutura formada por cromátides-irmãs, uma vez que a definição de cromossomos se refere às estruturas que estão no grau máximo de compactação e visíveis ao microscópio. Tal generalização pode explicar a forma de pensar dos estudantes E4, E8 e E9, os quais entendem que cromossomos “verdadeiros” são compostos por duas cromátides e, cromossomos não replicados, são apenas cromátides e não cromossomos individuais.

Ainda sobre a relação entre cromossomos e cromátides-irmãs, os estudantes E3 e E4 demonstram não saber a diferença entre os termos. Eles consideram que, em uma representação pictórica, por exemplo, cada cromátide conta como um cromossomo, concepção observada na etapa quantitativa desta pesquisa e que representava a hipótese principal apresentada no [Quadro 4](#). Kalas et al. (2013), que trabalharam no processo de elaboração do Inventário Conceitual de Meiose com aplicação a 193 estudantes de uma universidade canadense, afirmam que a diferenciação entre os dois conceitos estaria entre as principais dificuldades compartilhadas pelos estudantes participantes da pesquisa. Infante-Malachias et al. (2010) expõem que quando os estudantes de diferentes estágios do curso de Biologia, novatos e veteranos, da Universidade de São Paulo (USP) eram solicitados a desenhar um par de cromossomos homólogos e as cromátides-irmãs, estes não eram capazes de diferenciar entre os dois termos. Ademais, 15% de uma amostra de 217 estudantes de diversos cursos da USP não foi capaz de identificar corretamente cromátides irmãs em suas representações de cromossomos homólogos. Muitos universitários, em vez de identificar as cromátides separadas, dividiram os braços cromossômicos curtos e longos, gerando uma quebra dentro de cada cromátide e formando figuras em forma de “v”. Ainda, Dikmenli

(2010) verificou, por meio de desenhos e entrevistas, que 35 dos 124 graduandos de Biologia consideravam que cromossomos homólogos e cromátides-irmãs são a mesma coisa. Percebe-se que a diferenciação entre esses conceitos básicos da Genética requer uma maior ênfase nas aulas sobre o tema, pois são termos fundamentais ao entendimento do ciclo celular.

Outra confusão compartilhada entre os estudantes é a de que “a estrutura dos cromossomos varia em função da ploidia celular”, concepção identificada entre 71% dos veteranos e 60% dos calouros na etapa quantitativa. Kalas et al. (2013) detectaram que, somado à confusão entre os conceitos cromossomos e cromátides, uma dificuldade importante identificada se baseava na diferenciação entre células haploides e diploides. As autoras afirmam que, durante as entrevistas, os estudantes eram capazes de elaborar uma definição sobre os termos, mas não eram capazes de utilizar tal definição para identificar a ploidia celular em representações pictóricas. Essa dificuldade foi encontrada entre a maioria dos estudantes, inclusive entre aqueles que cursavam Genética. Guerra, Tavares e Vilas-Boas (2021, no prelo) detectaram nas falas dos estudantes, durante a tarefa de diagramação da meiose, que há uma confusão conceitual entre estrutura dos cromossomos e ploidia celular. Os graduandos entendem que n são cromossomos simples e $2n$ são cromossomos duplos. Com o mesmo raciocínio, estudantes mineiros pré-universitários associaram a ploidia à quantidade de cromátides dos cromossomos. Ploidia e alelos gênicos foram os temas que obtiveram os menores índices de acerto entre os estudantes testados em um curso pré-vestibular (BELMIRO; DINIZ; BARROS, 2017). As mesmas concepções equivocadas são relatadas em estudos antigos (KINDFIELD, 1994), evidenciando, dessa forma, a persistência desses entendimentos incorretos sobre a relação entre estrutura cromossômica e ploidia celular ao longo do tempo e diferentes culturas. Tal concepção pode explicar estudantes entendem que a replicação do DNA altera a ploidia da célula.

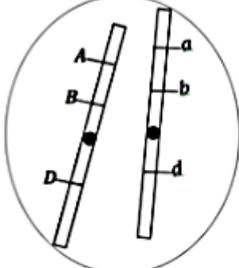
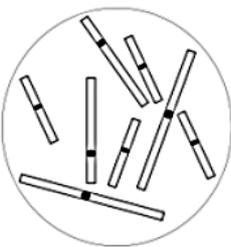
Sobre a classificação dos cromossomos de acordo com a posição do centrômero, Gil, Fradkin, Castañeda-Sortibrán (2018) distribuíram um problema de diagramação da mitose e da meiose a ser feito em casa para 30 estudantes que cursavam Genética em uma universidade do México. Os autores constataram que em suas representações os estudantes não desenhavam cromossomos telo/acrocêntricos, apenas o usual cromossomo metacêntrico. Esse resultado foi

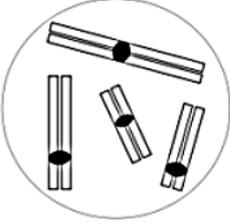
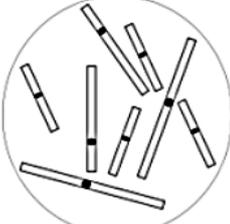
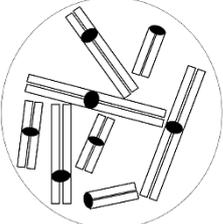
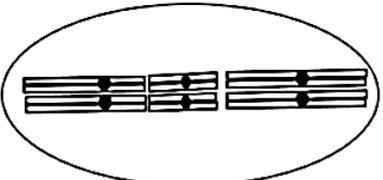
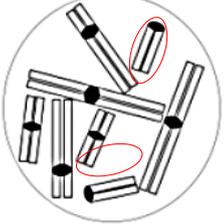
explicado pelos autores atribuindo ao fato de os cromossomos metacêntricos serem os mais vistos e estudados, aqueles imobilizados na metáfase da mitose e que têm a aparência clássica de “X”. Ademais, os maiores cromossomos humanos e os mais visíveis são metacêntricos, o que explica essa representação universal. De maneira semelhante, dois estudantes (E8 e E9) identificaram os cromossomos telocêntricos do item 8 como sendo cromossomos incompletos, faltando partes. É possível que esses estudantes tenham em mente apenas a imagem mais utilizada dos cromossomos, os tipos metacêntricos.

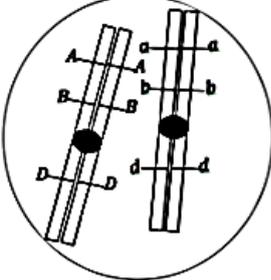
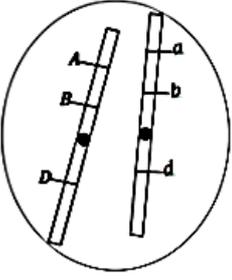
Por fim, alguns estudantes não se lembram ou não associam a síntese de DNA, o processo a nível molecular, à presença das cromátides-irmãs nos cromossomos. No item 5, os estudantes E3, E6, E8 e E9 verbalizam que não é possível afirmar a partir da imagem de um cromossomo duplicado se ocorreu ou não a replicação do DNA, um processo implícito na representação pictórica do item. Percebe-se, dessa forma, uma desconexão entre duas áreas da biologia que se interpenetram, a Biologia Molecular e a Genética. Esse resultado também foi encontrado na etapa quantitativa entre, aproximadamente, 50% dos calouros e dos veteranos, confirmando, portanto, a hipótese formulada inicialmente (Quadro 4). Guerra, Tavares e Vilas-Boas (2021, no prelo) relatam dificuldades de visualização de estruturas microscópicas, como os cromossomos, e de relacioná-las aos processos moleculares subjacentes. Chu e Reid (2012) afirmam que um dos fatores que contribuem para natureza complexa e abstrata da Genética é a necessidade de transitar por vários níveis de organização biológica.

O não entendimento da estrutura dos cromossomos repercute negativamente no entendimento de diversos outros conhecimentos associados ao ciclo celular, como ploidia, número de cromossomos e replicação do DNA. É importante, portanto, que o docente dê ênfase a esses conceitos elementares na graduação, pois é possível que o estudante não tenha estudado ou não se lembre dos conceitos supracitados com a profundidade necessária para aprendizagem efetiva do ciclo celular.

Quadro 9: Categorização de concepções equivocadas identificadas nas entrevistas. Categoria 2: estrutura dos cromossomos.

Categoria 2: Estrutura dos Cromossomos		
<p>Itens (resumidos):</p> <p>1- Uma das características que diferencia todas as células haploides de todas as células diploides é que</p> <p>4- Uma planta diploide tem um total de dois cromossomos por célula (somática) e seu genótipo é AaBbDd. Qual dos diagramas abaixo poderia representar uma célula dessa planta?</p> <p>5- Às vezes, os cromossomos são representados como “Xs” ou como na imagem à direita. Esta imagem representa um</p> <p>8- Quais das células representadas abaixo contêm um total de oito cromossomos?</p> <p>11- O diagrama à direita provavelmente representa os cromossomos de uma célula na metáfase da:</p>		
Concepções equivocadas	Verbalizações	Interpretação das verbalizações
<p>Cromossomos para serem considerados cromossomos devem ser compostos por cromátides irmãs</p>	<p>E4 (Item 4): “<i>Eu acredito que seja a letra A, porque fala que é uma célula diploide com um total de dois cromossomos por célula. Se ela é diploide, então, ela tem duas cópias de cada cromossomo, como são dois por célula, são quatro fitas no total, então, já elimino a C, que tem duas fitas só</i>”.</p> <p>E8 (Item 4): “<i>um cromossomo ele é composto por duas cromátides irmãs. Então, eu já desmarcaria a [letra] C, porque só tem uma cromátide em cada [cromossomo]</i>”.</p> <p>E9 (Item 8): Estudante: “<i>Seria só a [letra] C, né? Porque as outras são cromátides.</i>” Entrevistadora: “<i>Você acha que aqui [na letra B] tem quantos cromossomos?</i>” Estudante: “<i>Aí não vai ter nenhum, vai ter cromátides.</i>”</p>	<p>No Item 4, os estudantes E4 e E8 eliminaram a alternativa C, porque é a única em que os cromossomos são compostos por cromátides únicas e, portanto, não deveriam ser considerados cromossomos, por não estarem duplicados, como mostra o diagrama abaixo.</p> <p>Item 4 Letra C</p>  <p>O estudante E9 assinalou a alternativa C no item 8 aplicando os seguintes critérios: corretamente, entende que a letra A contém apenas 4 cromossomos duplicados e não oito. A letra B, representada no diagrama abaixo, apesar de conter 8 cromossomos, pelo fato de estes não estarem duplicados, o E9 entende que não seriam considerados cromossomos, mas apenas cromátides. A letra C tem 8 cromossomos duplicados.</p> <p>Item 8 Letra B</p> 
<p>Um cromossomo é uma cromátide</p>	<p>E3 (Item 8): “<i>Nessa questão eu marcaria a letra A e a letra B, porque na letra A, por exemplo, tem oito cromossomos, apesar de que eles são homólogos, quatro deles estão repetidos. Na B</i></p>	<p>No item 8, em que os estudantes devem selecionar as representações de células com total de oito cromossomos, a contagem dos entrevistados E3 e E4 é feita pelo número de cromátides. Por exemplo, a letra A, assinalada pelos estudantes, é uma célula com 4 cromossomos duplicados, contendo, portanto, 8 cromátides. Entretanto, os estudantes consideram que a célula contém oito cromossomos. A célula da alternativa B é assinalada pelos estudantes E3 e E4 por conter 8</p>

	<p>eles não estão repetidos, é uma célula haploide, por exemplo, mas ainda são oito cromossomos. Na letra C e na letra D são 16 cromossomos.”</p> <p>E4 (Item 8): “Eu marcaria a [letra] A e a [letra] B, pensando o que que é o cromossomo. Cromossomo é a fita, uma fita. Então, se têm oito cromossomos, só olhar quais [células] que têm oito fitas, que são a [letra] A e a [letra] B.”</p> <p>E4 (Item 11): “Bom, na imagem a gente tem 12 cromossomos, que estão agrupados de 6 em cima e 6 em baixo”</p>	<p>cromossomos não duplicados. Com o mesmo raciocínio, os estudantes consideraram que as letras C e D são células com 16 cromossomos, porém, na verdade, são células com oito cromossomos duplicados (16 cromátides), como mostra o diagrama da letra D abaixo.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;"> <p>Item 8 Letra A</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>Item 8 Letra B</p>  </div> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;"> <p>Item 8 Letra D</p>  </div> <p>A respeito da representação pictórica do Item 11, o estudante E4 entende que há 12 cromossomos no total, 6 na primeira fileira e 6 na segunda fileira. Portanto, o estudante considera que cromátides irmãs são cromossomos individuais.</p> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;">  </div>
<p>Cromossomos telocêntricos são cromossomos incompletos</p>	<p>E8 (Item 8): “[...] eu fico com dúvida na [letra] D em questão de: eu não sei se a parte superior desses cromossomos que não tem a parte de cima é muito pequena ou se realmente não tem”.</p> <p>E9 (Item 8): “[...] aí [na letra D] eles [os cromossomos] estão incompletos, né? Alguns.”</p>	<p>No item 8, que solicitava que os estudantes selecionassem todas as células com oito cromossomos, os estudantes E8 e E9 não selecionaram a letra D, por considerarem que o par de cromossomos telocêntricos, circulados abaixo, seriam cromossomos incompletos, ou seja, que estaria faltando pedaços.</p> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;"> <p>Item 8 Letra D</p>  </div>
<p>A estrutura dos cromossomos varia em função da ploidia celular</p>	<p>E2 (Item 1): “[...] as células haploides vão ter uma cromátide para cada cromossomo, enquanto as células diploides vão ter um cromossomo completo, vai ser 2n e haploide é só n.”</p>	<p>Os estudantes E2, E3 e E5 têm a concepção de que cromossomos não replicados seriam típicos de células haploides. Já cromossomos compostos por cromátides irmãs, isto é, cromossomos replicados, seriam característicos de células diploides. Por exemplo, a respeito da representação pictórica do item 5, os entrevistados entendem que seria um cromossomo em seu estado diploide.</p>

	<p>E2 (Item 5): Entrevistadora: <i>“Por que você acha que a [letra] C está certa?”</i></p> <p>Estudante: <i>“É porque tem as duas cromátides. Mas, essas [cromátides] daqui, no caso, elas são iguais, então, acho que é só [a letra] A e [a letra] B”.</i></p> <p>Entrevistadora: <i>“Eu não entendi direito o porquê você não marcaria a C”.</i></p> <p>Estudante: <i>“Eu acho que, nesse caso, as duas cromátides vão ser idênticas mesmo, não vai ser uma [cromátide] do pai e outra da mãe”.</i></p> <p>E3 (Item 4): <i>“Bom, nessa, de primeira, eu eliminaria a alternativa C, porque eu acho que se trata de uma célula haploide e tá falando que a planta ela é diploide”.</i></p> <p>Entrevistadora: <i>“Por que você acha que é haploide?”</i></p> <p>Estudante: <i>“como está representado só um pauzinho, eu acho que está representando só um cromossomo, sabe? Porque não está duplicado. [...] eu acho que a letra B e a [letra] D elas demonstram cromossomos diploides, de uma célula diploide”.</i></p> <p>E3 (Item 5): <i>“[...] por estarem ligados por um centrômero, esse cromossomo está em seu estado diploide”</i></p> <p>E5 (Item 1): <i>“Eu acho que a letra D seria a melhor [alternativa], porque quando fala metade dos cromossomos [na letra A], nas células</i></p>	<p>Representação pictórica do Item 5</p>  <p>No Item 5, o estudante E2 demonstrou ter a concepção de que um cromossomo teria um estado diploide se as cromátides fossem diferentes, isto é, uma oriunda do pai e a outra da mãe. Corrobora com a visão de que, no momento da fertilização, o cromossomo do pai se une ao cromossomo da mãe pelo centrômero.</p> <p>No Item 4 o estudante E3 considera que a célula representada na letra C, por ter cromossomos não duplicados, é haploide. Como o item solicita a marcação de uma célula diploide, as alternativas escolhidas pelo estudante foram aquelas que contêm cromossomos duplicados, como a letra B.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="791 1402 1062 1727"> <p>Item 4 - Letra B</p>  </div> <div data-bbox="1086 1402 1318 1727"> <p>Item 4 - Letra C</p>  </div> </div> <p>Portanto, para o E3, existe um estado diploide e haploide de um cromossomo.</p> <p>A alternativa D, selecionada pelo estudante E5 no Item 1, afirma que “as células haploides têm a metade da quantidade de DNA que as células diploides”. O estudante considera que a letra A, que afirma que “as células haploides têm metade dos cromossomos que as células diploides”, esteja errada porque tal afirmação não foi entendida pelo</p>
--	--	--

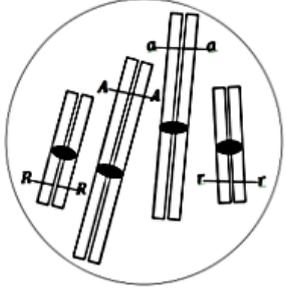
	<p><i>diploides os cromossomos são duplos, mas eles são juntos, né? A célula haploide tem metade dos cromossomos [...] e nas células diploides tem um cromossomo inteiro.”</i></p>	<p>estudante em termos de número absoluto, por exemplo, que as células haploides humanas têm 23 cromossomos e células diploides humanas têm 46 cromossomos. Na verdade, o entrevistado entendeu que a afirmação se refere à estrutura do cromossomo, isto é, células diploides teriam um cromossomo “completo”, com duas cromátides, e células haploides teriam a metade de um cromossomo “inteiro”, com apenas uma cromátide.</p>
<p>Não entende ou não se lembra sobre como a estrutura dos cromossomos se relaciona com a replicação do DNA.</p>	<p>E3 (Item 5): <i>“Eu acho que eu só não marcaria a letra B [...], por dois motivos: eu acho que, pela representação, a gente não tem informação suficiente pra afirmar que o cromossomo foi submetido à replicação do DNA. E, se eu não estiver errado, quando um cromossomo, por exemplo, é submetido à replicação do DNA, o centrômero dele é, entre aspas, desfeito.”</i></p> <p>E6 (Item 5): <i>“(O cromossomo) não tá duplicado, ele só tem as duas cromátides irmãs dele.”</i></p> <p>E8 (Item 5): <i>“Quando você tem a replicação do DNA, você tem aquela questão do desnovelamento das histonas, aquele processo. Então, eu acredito que esse processo não é ilustrado nessa imagem.”</i></p> <p>E9 (Item 5): <i>“Essa aí acho que seria a letra A, duas cromátides irmãs [...]. Pra mim, não está representando um processo de replicação.”</i></p>	<p>No item 5, os estudantes E3, E6, E8 e E9 não encontraram evidências de que esteja ocorrendo ou de que tenha ocorrido o processo de replicação do DNA na representação pictórica de um cromossomo duplicado. Portanto, não associam a presença de cromátides irmãs a esse evento chave do ciclo celular.</p> <p style="text-align: center;">Representação pictórica do Item 5</p> 

O [Quadro 10](#) apresenta a categorização dos transcritos referentes à categoria Replicação do DNA. No quadro de entrevistas ([Quadro 4](#)) as principais hipóteses sobre o entendimento dos estudantes a respeito do tema era que eles desconhecem o processo pelo qual originam-se as cromátides-irmãs e entendem que a replicação do DNA altera a ploidia da célula. Outra concepção identificada nesta etapa qualitativa é a de que a duplicação cromossômica origina um novo cromossomo. A respeito dessa última concepção equivocada, é possível que os termos matemáticos utilizados levem o estudante a entender que a duplicação do material genético dobra o número de cromossomos da célula, conforme verbalizado pelos estudantes E2, E3, E5 e E6. Esse entendimento também foi constatado por Kalas et al. (2013) na Universidade da Colúmbia Britânica entre 40% dos estudantes participantes da elaboração do ICM. É sabido que verbos da matemática comumente utilizados na Genética, como dividir, duplicar, replicar, separar, etc., podem causar confusão no entendimento dos tópicos dessa área (Guerra, Tavares e Vilas-Boas, 2021, no prelo).

Somada à concepção de que a replicação duplica cromossomos já existentes, alguns estudantes demonstram desconhecimento pelo processo molecular que dá origem às cromátides irmãs. Guerra et al. (2020) observaram erros relacionados à não representação da duplicação cromossômica em 59 de 139 tarefas de diagramação de meiose analisadas, feitas por graduandos de Ciências Biológicas, apesar de o processo ser um pré-requisito para que a divisão celular aconteça. Kalas et al. (2013), de forma semelhante, perceberam que os estudantes têm dificuldade de conectar a meiose a eventos da intérfase.

Quadro 10: Categorização de concepções equivocadas identificadas nas entrevistas. Categoria 3: replicação do DNA.

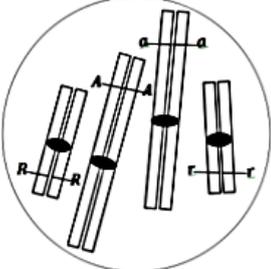
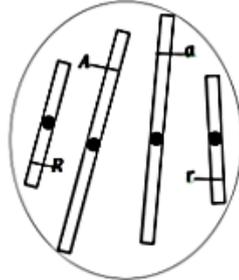
Categoria 3: Replicação do DNA		
Itens (resumidos): 6- Em uma célula eucariótica, a replicação do DNA resulta em um aumento no (a): 11- O diagrama à direita provavelmente representa os cromossomos de uma célula na metáfase da: 12- A célula mãe representada abaixo sofre uma meiose I e uma meiose II normais, produzindo quatro células filhas. Selecione quais células filhas poderiam ser.		
Concepções equivocadas	Verbalizações	Interpretação das verbalizações
A replicação do DNA duplica os cromossomos criando um novo cromossomo para cada um já existente.	<p>E2 (Item 6): “[a replicação do DNA] aumenta o número de moléculas e o número de cromossomos.”</p> <p>Entrevistadora: “E por que você marcou essas alternativas?”</p> <p>E2: “o número de moléculas de DNA porque vai pegar uma como molde e forma a outra, então, vai dobrar o número de moléculas de DNA. Acho que vai fazer isso com o material todo, né? Acho que vai dobrar o número de cromossomos também.”</p> <p>E3 (Item 6): “Bom, nessa eu marcaria todas as opções, porque isso acontece em algum momento dos diversos tipos de células que existem, só que isso não é uma regra pra todas as células. Por exemplo, durante a replicação, a quantidade de DNA nessa célula, por mais que seja momentânea, ela aumenta. O número de cromossomos nessa célula, momentaneamente, também aumenta”.</p> <p>E5 (Item 6): “Quando eu to me replicando, eu to pegando meu DNA e to fazendo outro igual a ele, to produzindo dois DNAs. Então, eu teria um cromossomo e, no final, eu teria dois cromossomos. Então, a quantidade de DNA nessa célula aumentaria até nesse momento que ela dividiria e cada célula ficaria com sua quantidade ideal de DNA e cromossomos”.</p> <p>E6 (Item 11): “Eles [os cromossomos] estão, além de ter as duas cromátides irmãs, eles ainda estão duplicados [...]”</p> <p>E6 (Item 12): “[...] os cromossomos, que na célula mãe estão duplicados, eles</p>	<p>Os estudantes E2, E3 e E5 têm a ideia de que o aumento do número de cromossomos é uma consequência direta do aumento do número de moléculas de DNA após a replicação do material genético.</p> <p>O estudante E6 tem a concepção de que os cromossomos homólogos, e não as cromátides irmãs, representados no diagrama do item 11 (abaixo), são resultantes de um processo de duplicação.</p>  <p>O estudante E6 também considera que a célula mãe do desenho abaixo passará pelo processo de replicação do</p>

	<p>vão se alinhar, eles vão [...] duplicar, [...], eles têm as cromátides irmãs, aí eles vão duplicar”</p> <p>Entrevistadora: “Então, você acha que essa célula mãe vai passar pelo processo de replicação e aí cada cromossomo passa a ter quatro cromátides?”</p> <p>Estudante: “Não, cada cromossomo vai ter quatro fitinhas, mas, tipo assim, vai surgir outro cromossomo.”</p>	<p>DNA e, como resultado, surgirão novos cromossomos.</p> <p>Célula mãe</p> <p>Item 12</p> 
<p>A replicação do DNA altera a ploidia da célula</p>	<p>E3 (Item 6): “A ploidia aumenta, no caso, não tipo 2n a 4n, no caso, por exemplo de meiose, uma célula haploide ela replica e adquire sua “diploidia”.”</p> <p>E4 (Item 6): “É porque se eu estou pensando na replicação que vai dar origem a duas células filhas, uma célula que é 2n teria que ser temporariamente 4n, a célula mãe, para que as duas filhas, cada uma, seja 2n.”</p> <p>E10 (Item 6): “De acordo não com o meu raciocínio, mas de acordo com o que eu aprendi em Genética, a replicação do DNA resulta em um aumento da ploidia, porque fala que a célula vai ficar brevemente 4n.”</p>	<p>Estudantes E3, E4 e E10 entendem que a replicação do DNA em células haploides ou diploides eleva a ploidia da célula de n para 2n ou de 2n para 4n, respectivamente. Para os estudantes E3 e E4, o aumento da ploidia da célula seria condição necessária para divisão celular, para a correta distribuição do material genético às células filhas e estas restaurariam, portanto, a ploidia da célula mãe.</p>

O [Quadro 11](#) apresenta duas concepções equivocadas sobre o resultado final da meiose, os gametas: alguns estudantes entendem que, ao final da meiose, os cromossomos são estruturas duplicadas; outros, consideram que os gametas se parecem com as células resultantes da mitose, isto é, possuem o mesmo conteúdo genético da célula mãe. Essa última ideia incorreta também foi identificada como uma concepção equivocada comum na etapa qualitativa entre, aproximadamente, 50% dos calouros e veteranos. A primeira concepção equivocada pode advir da ideia de que cromossomos “normais/reais” devem ser compostos por cromátides-irmãs, como discutido anteriormente e identificado no trabalho de Dikmenli (2010), ideia incorreta que, segundo a autora, não foi relatada anteriormente na literatura. Essa concepção também foi identificada entre 25% da amostra de 193 estudantes canadenses do estudo de Kalas et al. (2013).

A confusão entre os processos de divisão celular, mitose e meiose, também foi identificada por Gil, Fradkin e Castañeda-Sortibrán, (2018). Os autores observaram, em diagramações da mitose e meiose, que universitários do México desenvolveram esquemas idênticos da meiose II e mitose. Etobro e Banjoko (2017) relataram, por meio de um teste de múltipla-escolha de Genética, que 84% de 120 professores em formação da Nigéria entendem que a meiose origina células diploides. Possivelmente, tal concepção se deve à ideia frequentemente disseminada de que a meiose II nada mais é do que uma mitose. Tal afirmação pode confundir o estudante sobre os resultados dos dois processos, levando-os a pensar que gametas se parecem com células pós-mitóticas.

Quadro 11: Categorização de concepções equivocadas identificadas nas entrevistas. Categoria 4: resultados da meiose.

Categoria 4: Resultados da Meiose		
Item 12 (resumido): A célula mãe sofre uma meiose I e uma meiose II normais, produzindo quatro células filhas. Selecione quais células filhas poderiam ser.		
Concepções equivocadas	Verbalizações	Interpretação das verbalizações
Gametas se parecem com células pós-mitóticas	<p>E6 (Item 12): “Poderia ser só a letra A, porque pensando, tipo assim, os cromossomos, que na célula mãe estão duplicados, eles vão se alinhar, eles vão duplicar, eles têm as cromátides irmãs, aí eles vão duplicar, aí eles vão juntar lá no meio da célula e vão separar em 4 e aí as células filhas teriam que ter todos [os cromossomos]. Então, acho que a única possível seria a letra A, porque tem as fitinhas, a metade de todos os cromossomos que tem a célula mãe.”</p> <p>E9 (Item 12): Estudante: “[a letra A] é a que melhor representa os processos de divisão, né? As fases de meiose I e meiose II.”</p> <p>Entrevistadora: “Você acha que a [letra] B está errada por quê?”</p> <p>Estudante: “Porque, no caso, estaria faltando algumas cromátides que a célula mãe poderia entregar.”</p> <p>Entrevistadora: “E a [letra] C? Por que que você acha [que estaria errada]?”</p> <p>Estudante: “Também. Principalmente pelo processo de haploidia, se eu não me engano acontece.”</p> <p>E3 (Item 12): “Eu acho que nessa eu marcaria só a letra A [...]. A letra B e a letra D eu acho que tá faltando cromossomos. Eles estão representando alguns dos cromossomos da célula mãe, mas, como falou que sofreu uma meiose normal, acredito que tá faltando um cromossomo. A letra A é uma das representações das possibilidades de células filhas.”</p>	<p>O estudante E6 entende que a célula mãe, a qual já possui cromossomos duplicados, ainda passará pela duplicação do DNA. Tal processo resultaria, na concepção do entrevistado E6, em um aumento do número de cromossomos; um cromossomo, ao passar pela duplicação do DNA, daria origem a um novo cromossomo idêntico, como mostra a Figura 8. Todos os cromossomos se alinhariam, posteriormente, no centro da célula e ocorreria a separação de homólogos na meiose I. Na meiose II, com a separação das cromátides irmãs, cada uma das células filhas resultantes teriam metade de todos os cromossomos da célula mãe, considerando, portanto, que uma cromátide é um cromossomo.</p> <p>Os estudantes E9 e E3 consideram que, em uma meiose I e meiose II normais, a célula mãe distribui às células filhas uma cromátide de cada cromossomo que se apresenta duplicado no diagrama abaixo:</p> <div style="text-align: center;">  <p>Item 12 Célula mãe</p> </div> <p>Portanto, a representação pictórica correta seria a da alternativa A, a qual representaria uma célula filha “completa”, com todos os cromossomos da célula mãe:</p> <div style="text-align: center;">  <p>Item 12 Letra A</p> </div> <p>As demais alternativas citadas pelos estudantes, como as letras B e D, são células haploides com total de 2 cromossomos, sendo, portanto, consideradas por eles como células filhas</p>

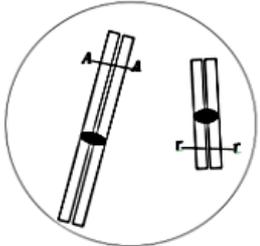
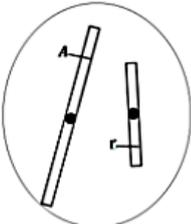
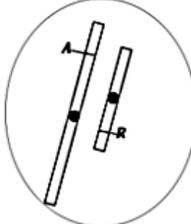
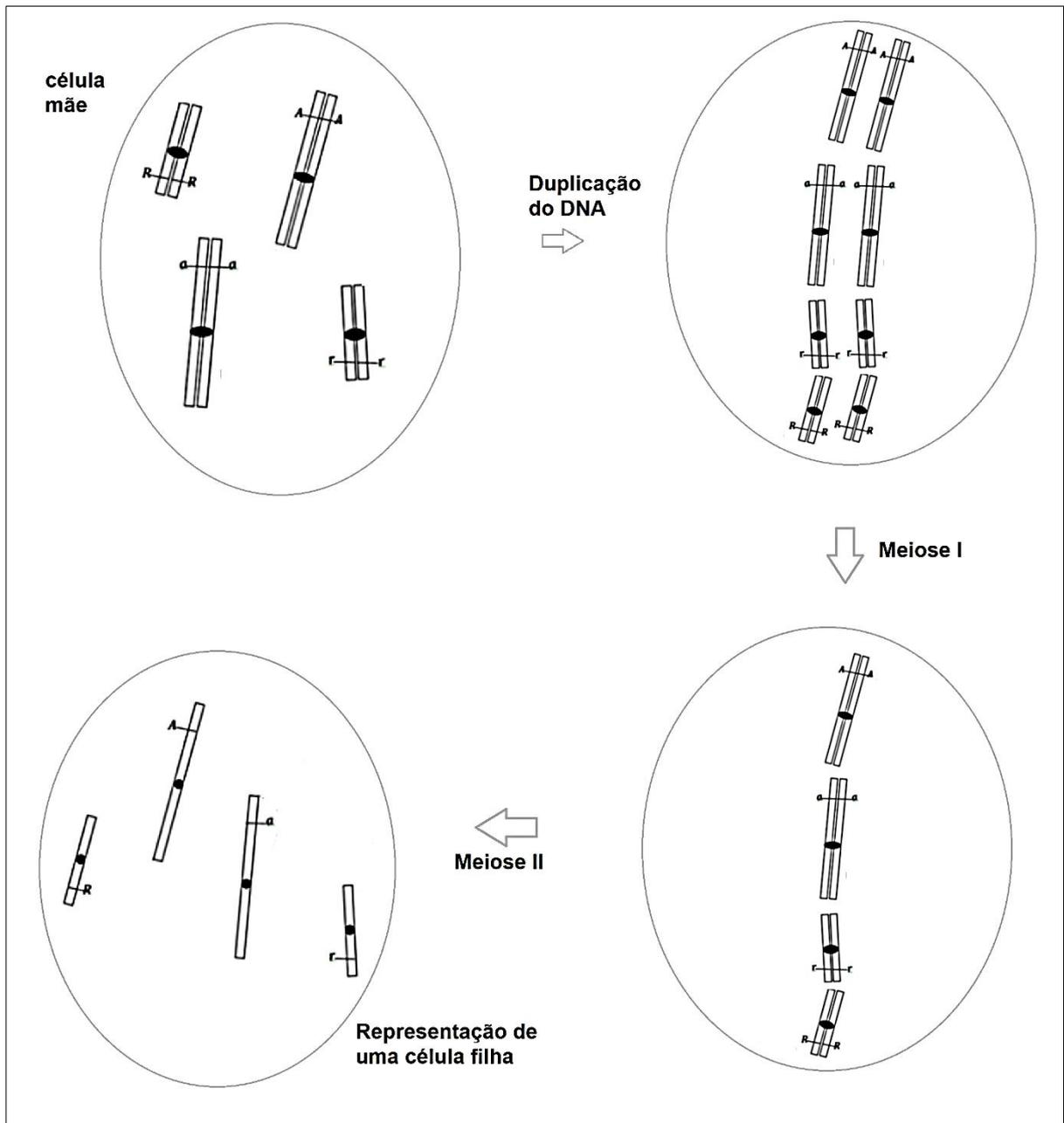
		“incompletas”.
<p>Em um gameta os cromossomos ainda são compostos de cromátides irmãs</p>	<p>E8 (Item 12): <i>“Eu vou na [letra C], porque é a que tem os cromossomos mesmo, com as duas cromátides, e é o resultado desse processo reducional [da meiose], ele reduz o número de cromossomos na célula.”</i></p>	<p>O estudante E8 selecionou a alternativa C por considerar, corretamente, que as células filhas resultantes da meiose têm metade do número de cromossomos da célula mãe. Porém, o estudante desconhece a separação de cromátides, que ocorre na meiose II.</p> <p>Item 12 Letra C</p>  <p>Por esse motivo, incorretamente, o estudante descarta as letras B e D, por não considerar cromossomos não replicados como cromossomos verdadeiros.</p> <p>Letra B</p>  <p>Letra D</p> 

Figura 8: Concepção equivocada do estudante E6 no item 12. Erroneamente, o estudante considera que a célula mãe, a qual já possui cromossomos duplicados, passaria pela replicação do DNA. A replicação resultaria na produção de cromossomos idênticos aos já existentes na célula mãe, resultando, portanto, em uma célula tetraploide. Na meiose I ocorreria a separação dos cromossomos idênticos e resultaria em duas células novamente diploides, idênticas à célula mãe. Na meiose II ocorreria a separação das cromátides irmãs. As quatro células filhas resultantes seriam diploides com o mesmo número de cromossomos, porém não duplicados, e conteúdo genético da célula mãe. Obs.: foi representada apenas uma das células filhas na diagramação simplificada da meiose.



Por fim, os estudantes demonstraram ter dificuldade em utilizar o vocabulário adequado da Genética. Os entrevistados, muitas vezes, não se referem às cromátides como tal. Para se referir aos alelos, um estudante utilizou o termo “haplótipo”. Outro estudante se referiu ao genótipo como “código genético”. Também, foi utilizado o termo “puxamento genético” para se referir à separação dos cromossomos homólogos e cromátides irmãs durante a divisão celular. Para se referir à separação das cromátides irmãs, um estudante utilizou a expressão “rasgar o cromossomo no meio”. De fato, o vocabulário genético é extenso, composto por muitos termos parecidos, que podem constituir um obstáculo ao entendimento de diversos assuntos da área (KNIPPELS; WAARLO; BOERSMA, 2005).

Muitas concepções podem constituir entendimentos incorretos que podem ser facilmente superados após a instrução. Contudo, o compartilhamento das mesmas concepções equivocadas entre calouros e veteranos, mesmo após de inúmeras exposições ao tema na escola, cursos pré-vestibulares e na universidade, mostra que as concepções são resistentes à mudança conceitual e podem dificultar a aprendizagem de temas novos. Além disso, é possível que as concepções equivocadas encontradas entre os graduandos da UFMG sejam compartilhadas por estudantes de outras instituições de ensino do Brasil e outros países.

Uma possível solução para minimizar a ocorrência de concepções equivocadas e sua persistência é diversificar os métodos de ensino utilizados. Existe na literatura a proposição de formas alternativas de ensinar meiose, como a [Meiose no Papel](#), mencionada no trabalho de Guerra et al. (2020), em que os estudantes, com o auxílio de um roteiro e do professor, representam cada etapa da meiose utilizando recortes de cromossomos de papel, onde diferentes *lóci* e alelos são necessariamente representados. Tal prática permite que o estudante entenda a relação da meiose com as Leis de Mendel, como se origina a variabilidade Genética nos gametas, a importância do *crossing-over*, o que é a segregação independente etc., por meio de uma metodologia ativa. Em trabalhos de pesquisa, a adoção de metodologias ativas de ensino vem mostrando resultados positivos, comparado aos estudantes que tem as aulas tradicionais sobre a meiose (NEWMAN; WRIGHT, 2017; WRIGHT; NEWMAN, 2011). Newman (2011), por exemplo, descreve que quando são conduzidas intervenções ativas com abordagens construtivistas, focando nas diferenças entre cromossomos e cromátides-irmãs e

em como contar o “ n ” em uma célula, os estudantes puderam fazer a conexão de ploidia com o número de cromossomos e não com o número de cópias de DNA. No trabalho, as autoras utilizaram estudantes voluntários que agiam como cromossomos e meias para representar a molécula de DNA, além de estimular o debate a cada etapa do processo meiótico.

5 CONCLUSÃO

O ICM adaptado e as entrevistas cognitivas demonstraram ser ferramentas eficazes para analisar a compreensão sobre o tema meiose entre estudantes de Ciências Biológicas da UFMG, bem como para identificar concepções equivocadas, as quais podem dificultar a aprendizagem significativa da Genética.

Estudantes calouros e veteranos compartilham muitas concepções equivocadas sobre conceitos básicos associados à meiose, especialmente sobre ploidia celular, disposição dos alelos gênicos, estrutura e número dos cromossomos, replicação do DNA e os resultados da meiose. Também, demonstraram ter dificuldade com a terminologia específica da área. Portanto, os estudantes ingressam na universidade com entendimento equivocado sobre os temas. Interessantemente, os veteranos, mesmo após cursarem disciplinas de Genética, Biologia Molecular, Biologia Celular e outras, tendem a manter concepções equivocadas sobre conceitos muito semelhantes aos identificados entre os calouros.

Este trabalho chama atenção para a necessidade de dar ênfase aos conceitos aqui discutidos durante o ensino da meiose. Como sugerido por Guerra, Tavares e Vilas-Boas (2021, no prelo), o conhecimento do aluno nas disciplinas básicas de genética não pode ser simplesmente superestimado pelo docente; a prospecção dos conhecimentos prévios deve se dar de forma mais contundente dentro do plano de ensino para que se possa entender as concepções equivocadas que seus estudantes possam carregar. Acreditamos que nossos resultados também vêm no sentido de incentivar a discussão desses conceitos entre professores e estudantes não apenas em âmbito local, mas em outras unidades da federação do Brasil e em outros países. Além disso, esses achados podem guiar ações de ensino, como a elaboração de materiais didáticos de forma mais precisa, enfatizando as concepções equivocadas relatadas em trabalhos como este, o que pode repercutir positivamente no ensino de Genética nacional e internacionalmente.

Por fim, deve-se considerar a falta de articulação entre conteúdos acadêmicos e pedagógicos entre professores universitários. Muitas vezes o docente não fez licenciatura, passou pelo mestrado, doutorado, e pouco teve contato com o campo da docência. É necessário investir na formação docente, uma vez que os desafios para atuar nos cursos de graduação são enormes. A qualificação pedagógica, além da qualificação específica, pode abrir espaço para adoção de novas metodologias de ensino que sejam mais eficazes ao ensino de temas considerados complexos.

Por mais produtivas que sejam as pesquisas em ensino de ciências, os resultados só serão visualizados, em termos de melhoria da aprendizagem dos estudantes em sala de aula, se as implicações desses trabalhos não se restringirem a publicações de pesquisa, mas sim se as informações produzidas forem incorporadas à prática pedagógica de professores de diferentes níveis de ensino, rompendo, dessa forma, a divisão entre pesquisa e prática pedagógica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMS, W. K.; WIEMAN, C. E. Development and validation of instruments to measure learning of expert-like thinking. **International Journal of Science Education**, v. 33, n. 9, p. 1289–1312, 2011.
- ANDERSON, D. L.; FISHER, K. M.; NORMAN, G. J. Development and Evaluation of the Conceptual Inventory of Natural Selection. **Journal Of Research In Science Teaching**. v. 39, n. 10, p. 952–978, 2002.
- ANDERSON, L. W.; KRATHWOHL, D. R.; BLOOM, B. S. A taxonomy for learning, teaching, and assessing: a revision of Bloom’s taxonomy of educational objectives. **Theory Into Practice**, v. 41, n. 4, p. 352, 2001.
- BAHAR, M. Misconceptions in Biology Education and Conceptual Change Strategies. **Educational Sciences: Theory & Practice**, v. 3, n. 1, p. 55–64, 2003.
- BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. Lisboa: Edições 70, 1977.
- BELMIRO, M. S.; DINIZ, M.; BARROS, M. DE. Ensino de Genética no ensino médio: uma análise estatística das concepções prévias de estudantes pré-universitários. **Revista Práxis**, v. 9, 2017.
- BLOOM, B. S. (ed.). **Taxonomy of educational objectives: the classification of educational goals: handbook 1: cognitive domain**. Michigan: David McKay Company, 1956.
- BOGDAN, R.; BIKLEN, S.K. **Investigação qualitativa em educação**. Portugal: Porto editora, 1994.
- BORGATTO, A. F.; ANDRADE, D. F. DE. Análise clássica de testes com diferentes graus de dificuldade. **Estudos em Avaliação Educacional**, v. 23, n. 52, p. 146, 2012.
- BOWLING, B. V. et al. Development and evaluation of a genetics literacy assessment instrument for undergraduates. **Genetics**, v. 178, n. 1, p. 15–22, 2008.
- BRÃO, A.; BENEVIDES PEREIRA, A. Biotecnética: possibilidades do jogo no ensino de Genética. **REEC: Revista electrónica de enseñanza de las ciencias**, v. 14, n. 1, p. 55–76, 2015.
- BRASIL. Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular. Brasília, 2018.
- BROWN, C. R. Some misconceptions in meiosis shown by students responding to an Advanced level practical examination question in biology. **Journal of Biological Education**, v. 24, n. 3, p. 182–186, set. 1990.
- CARNEIRO, S. P.; DAL-FARRA, R. A. As situações-problemas no ensino de Genética: estudando a mitose. **Genética na Escola**, v. 06, n. 02, p. 30–34, 2011.
- CARVALHO, H. F. DE. A Fragilidade do Ensino da Meiose. **Ciência & Educação**, v. 26, p. 1–15, 2020.
- CEZAR, K. G. et al. Análise e organização da informação nas instituições: definição de temas prioritários em biotecnologia e Genética. **Revista Ibero-Americana de Ciência da Informação**, v. 13, n. 1, p. 167–183, 2020.

- CHU, Y. C.; REID, N. Genetics at school level: Addressing the difficulties. **Research in Science and Technological Education**, v. 30, n. 3, p. 285–309, 2012.
- CHU, Y. C.; REID, N. Genetics at school level: Addressing the difficulties. **Research in Science and Technological Education**, v. 30, n. 3, p. 285–309, nov. 2012.
- CROWE, A.; DIRKS, C.; WENDEROTH, M. P. Biology in Bloom : Implementing Bloom’s Taxonomy to Enhance Student Learning in Biology. **Life Sciences Education**. v. 7, p. 368–381, 2008.
- DIAS, M. A. DA S. **Dificuldades na aprendizagem dos conteúdos de Biologia: evidências a partir das Provas de Múltipla Escolha do Vestibular da UFRN (2001-2008)**. Tese (Doutorado em Educação) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, p. 229, 2008.
- DIKMENLI, M. Misconceptions of cell division held by student teachers in biology: A drawing analysis. **Scientific Research and Essay**, v. 5, n. 2, p. 235–247, 2010.
- DORAN, R. L. Misconceptions of selected science concepts held by elementary school students. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 9, n. 2, p. 127–137, 1972.
- DRIVER, R. Students’ conceptions and the learning of science. **International Journal of Science Education**, v. 11, n. 5, p. 481–490, 1989.
- ETOBRO, A. B.; BANJOKO, S. O. Misconceptions of genetics concepts among pre-service teachers. **Global Journal of Educational Research**, v. 16, n. 2, p. 121, 1 nov. 2017.
- FERRAZ, A. P. C. M.; BELHOT, R. V. Taxonomia de Bloom: revisão teórica e apresentação das adequações do instrumento para definição de objetivos instrucionais. **Gestão & Produção, São Carlos**, v. 17, n. 2, p. 421–431, 2010.
- FLICK, U. **Introdução à metodologia de pesquisa: um guia para iniciantes**. Tradução: Magda Lopes; revisão técnica: Dirceu da Silva. Porto Alegre: Penso, 2013.
- GARVIN-DOXAS, M. K.; KLYMKOWSKY, S. E. Building, Using, and Maximizing the Impact of Concept Inventories in the Biological Sciences: Report on a National Science Foundation–sponsored Conference on the Construction of Concept Inventories in the Biological Sciences. **Life Sciences Education**. v. 6, p. 277–282, 2007.
- GIACÓIA, L. R. D., **Conhecimento Básico de Genética: Concluintes do Ensino Médio e Graduandos de Ciências Biológicas**. 2006. 88f. Dissertação (Mestrado em Educação para a Ciência). Faculdade de Ciências, UNESP, Bauru, 2006.
- GIL, S. G. R.; FRADKIN, M.; CASTAÑEDA-SORTIBRÁN, A. N. Conceptions of meiosis: misunderstandings among university students and errors. **Journal of Biological Education**, p. 1–14, 9 maio 2018.
- GOFF, E. E. et al. Efficacy of a meiosis learning module developed for the virtual cell animation collection. **CBE Life Sciences Education**, v. 16, n. 1, p. 1–12, 2017.
- GUERRA, L. F. et al. Desenvolvimento de um método de análise de diagramas sobre meiose que auxilia avaliar erros de compreensão sobre a divisão celular. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 15, n. 3, p. 108–123, 2020.

GUERRA, L.; TAVARES, M.; VILAS-BOAS, A. Persistência De Concepções Alternativas Sobre Meiose No Ensino De Genética Entre Licenciandos De Ciências Biológicas. p. 1–19, 2021. No prelo.

HESTENES, D.; WELLS, M.; SWACKHAMER, G. Force concept inventory. **The Physics Teacher**, v. 30, n. 3, p. 141–158, 1992.

INFANTE-MALACHIAS, M. et al. Comprehension of basic genetic concepts by brazilian undergraduate students. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 9, n. 3, p. 657–668, 2010.

JÚNIOR, C. S.; SASSON, S.; JÚNIOR, N. C. **Biologia 3: ensino médio**. 11. ed. São Paulo: Saraiva, 2016. v. 1, 2, 3.

JÚNIOR, O. G. A. **Módulo II: o planejamento de ensino**. (Belo Horizonte, online) [online]. 2017, vol., n. ISSN 25261126.

KALAS, P. et al. Development of a meiosis concept inventory. **CBE Life Sciences Education**, v. 12, n. 4, p. 655–664, 2013.

KINDFIELD, A. C. H. Understanding a basic biological process: Expert and novice models of meiosis. **Science Education**, v. 78, n. 3, p. 255–283, 1994.

KLYMKOWSKY, K. G.-D. AND M. W. Understanding Randomness and its Impact on Student Learning: Lessons Learned from Building the Biology Concept Inventory (BCI). **CBE Life Sciences Education**, v. 7, n. June, p. 45–53, 2008.

KNIPPELS, M. C. P. J.; WAARLO, A. J.; BOERSMA, K. T. Design criteria for learning and teaching genetics. **Journal of Biological Education**, v. 39, n. 3, p. 108–112, 2005.

KRASILCHIK, M. **Prática de Ensino de Biologia**. 4ª ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2008.

KUBINGER, K. D.; GOTTSCHALL, C. H. Item difficulty of multiple choice tests dependant on different item response formats--An experiment in fundamental research on psychological assessment. **Psychological Science**, v. 49, n. 4, p. 361–374, 2007.

LANIE, A. D. et al. Exploring the public understanding of basic genetic concepts. **Journal of Genetic Counseling**, v. 13, n. 4, p. 305–320, 2004.

LEWIS, J.; LEACH, J.; WOOD-ROBINSON, C. Chromosomes: The missing link - Young people's understanding of mitosis, meiosis, and fertilisation. **Journal of Biological Education**, v. 34, n. 4, p. 189–199, 2000.

LIBARKIN, J. Libarkin, 2008. Concept Inventories in Science: Manuscript prepared for the National Research Council. **National Research Council**, p. 1–13, 2008.

LINHARES, S.; GEWANDSZNAJDER, F. **Biologia hoje**. São Paulo: Ática, 2014. v. 1.

MCELHINNY, T. L. et al. The Status of Genetics Curriculum in Higher Education in the United States: Goals and Assessment. **Science and Education**, v. 23, n. 2, p. 445–464, 2014.

MEC. Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio. Brasília: MEC/SEMTEC, 1999.

- MEC. PCN+ Ensino Médio: Orientações Educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Vol. 2. Brasília: MEC/SEMTEC, 2002.
- MEDEIROS, L. et al. Aprendendo com as respostas dos estudantes a itens dos testes das avaliações de larga escala: lições do Sistema Nacional de Avaliação da Educação Básica. **Revista Com Censo**, v. 4, n. 4, p. 14–24, 2017.
- MENGA LÜDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. A. **Pesquisa em educação: abordagens qualitativas**. 2. ed. Rio de Janeiro: E.P.U., 2018.
- METZGER, K. J.; YOWLER, J. Y. Which way is better? comparison of two interactive modeling approaches for teaching meiosis in an introductory undergraduate biology course. **American Biology Teacher**, v. 81, n. 2, p. 98–109, 2019.
- MINAS GERAIS. Conteúdos básicos comuns. Belo Horizonte: Secretaria Estadual de Educação, 2018.
- MOREIRA, M. A. O que é afinal aprendizagem significativa? **Qurriculum**, v. 25, p. 29–56, 2012.
- MOREIRA, M. A.; GRECA, I. M. A mudança conceitual: análise crítica e propostas à luz da teoria da Aprendizagem Significativa. **Ciência & Educação**, v. 9, n. 2, p. 301–15, 2003.
- MORTIMER, E. F. Construtivismo, mudança conceitual e ensino de ciências: para onde vamos? **Investigações em Ensino de Ciências**, v. VI, n. 1, p. 20–39, 1996.
- NEHM, R. H.; HA, M.; MAYFIELD, E. Transforming Biology Assessment with Machine Learning: Automated Scoring of Written Evolutionary Explanations. **Journal of Science Education and Technology**, v. 21, n. 1, p. 183–196, 2012.
- NEHM, R. H.; SCHONFELD, I. S. Measuring knowledge of natural selection: A comparison of the CINS, an open-response instrument, and an oral interview. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 45, n. 10, p. 1131–1160, 2008.
- NEWMAN, D. L.; WRIGHT, L. K. Meiosis: A Play in Three Acts, Starring DNA Sequence. **CourseSource**, v. 4, 2017.
- OLIVEIRA, E. A. M. et al. Parâmetros curriculares nacionais do ensino médio, formação docente e a gestão escolar. In: **XXVI Simpósio Brasileiro de Política e Administração da Educação**. 2013, Recife. Anais [...]. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2013.
- PIERCE, B. A. **Genética: um enfoque conceitual**. 3 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2011.
- PINTRICH, P. R.; MARX, R. W.; BOYLE, R. A. Beyond Cold Conceptual Change: The Role of Motivational Beliefs and Classroom Contextual Factors in the Process of Conceptual Change. **Review of Educational Research**, v. 63, n. 2, p. 167-199, 1993.
- POSNER, G. J. et al. Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. **Science Education**, v. 66, n. 2, p. 211–227, abr. 1982.
- PRIMON, C. S. F. **Análise do conhecimento de conteúdos fundamentais de Genética e Biologia Celular apresentado por graduandos em Ciências Biológicas**. Dissertação de mestrado, Instituto de Biociências. Departamento de Genética e Biologia Evolutiva.

Universidade de São Paulo. São Paulo, 135 p. 2005.

SANT'ANNA, H. DE P. et al. Alelos e Cores: integrando tradução e interações alélicas. **Genética na Escola**, v. 15, n. 2, p. 142–163, 2020.

SHI, J. et al. A Diagnostic Assessment for Introductory Molecular and Cell Biology Jia. **Science**, v. 9, p. 453–461, 2010.

SILVAL, T. H. da; SILVA, G. S. F.; MANSOR, M. O uso do inventário dos conceitos de força para análise das concepções de mecânica newtoniana de alunos de licenciatura em física. In: SBF. **XVIII Simpósio Nacional de Ensino de Física**. [S.l.], 2009.

SMITH, M. K.; KNIGHT, J. K. Using the Genetics Concept Assessment to document persistent conceptual difficulties in undergraduate genetics courses. **Genetics**, v. 191, n. 1, p. 21–32, 2012.

SMITH, M. K.; WOOD, W. B.; KNIGHT, J. K. The Genetics Concept Assessment: A New Concept Inventory for Gauging Student Understanding of Genetics. **CBE Life Sciences Education**, v. 7, p. 422–430, 2008.

STEFANSKI, K. M.; GARDNER, G. E.; SEIPELT-THIEMANN, R. L. Development of a Lac operon concept inventory (LOCI). **CBE Life Sciences Education**, v. 15, n. 2, p. 1–11, 2016.

TSAI, F. J.; SUEN, H. K. A brief report on a comparison of six scoring methods for multiple true-false items. **Educational and Psychological Measurement**, v. 53, p. 399–404, 1993.

TSUI, C. Y.; TREAGUST, D. Evaluating secondary students' scientific reasoning in genetics using a two-tier diagnostic instrument. **International Journal of Science Education**, v. 32, n. 8, p. 1073–1098, 2010.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS. Universidade Federal de Minas Gerais, 2021. Página do curso de Ciências Biológicas. Disponível em: <<https://ufmg.br/cursos/graduacao/2379/91401>>. Acesso em: 25 de nov. de 2021.

VAN SOMEREN, M. W., BARNARD, Y. F., SANDBERG, J. A. C. **The think aloud method**: a practical approach to modelling cognitive processes. (Knowledge-based systems). Londres: Academic Press, 1994.

VIENNOT, L. Spontaneous reasoning in elementary dynamics. **European Journal of Science Education**, v. 1, n. 2, p. 205–221, 1979.

VILARINHO, A. P. L. **Uma Proposta de Análise de Desempenho dos Estudantes e de Valorização da Primeira Fase da OBMEP**. Dissertação (Mestrado Profissional em Matemática). Instituto de Ciências Exatas. Universidade de Brasília. Brasília, 2015.

VILAS-BOAS, A. Conceitos errôneos de Genética em livros didáticos do ensino médio. **Genética na Escola**, v. 1, p. 1996–1998, 2006.

WOOD-ROBINSON, C. Young people's ideas about inheritance and evolution. **Studies in Science Education**, v. 24, n. 1, p. 29–47, 1994.

WRIGHT, L. K.; NEWMAN, D. L. An interactive modeling lesson increases students' understanding of ploidy during meiosis. **Biochemistry and Molecular Biology Education**, v.

39, n. 5, p. 344–351, 2011.

YIP, D. Y. Identification of misconceptions in novice biology teachers and remedial strategies for improving biology learning. **International Journal of Science Education**, v. 20, n. 4, p. 461–477, 1998.

APÊNDICE A - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (on-line)

(1). Sobre o estudo em que você está envolvido (a): A. Você está sendo convidado(a) a participar de uma pesquisa que visa entender a formação de conceitos genéticos e o relacionamento com erros conceituais que dificultam o entendimento de processos básicos na disciplina de Genética. Os resultados deste estudo poderão trazer informações pertinentes ao desenvolvimento de estratégias pedagógicas para o aperfeiçoamento do ensino na área que repercutirão na aprendizagem dos estudantes. Sua participação é importante para a pesquisa, porque a Genética é considerada uma das áreas da Biologia que os estudantes mais apresentam dificuldades. B. Em caso de dúvida, você pode entrar em contato com a pesquisadora responsável pelo e-mail adlane@ufmg.br ou pelo telefone 3409-2980/996511464. Em caso de dúvida quanto às questões éticas, você poderá entrar em contato com o Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da UFMG pelo telefone (31) 3409 4592, ou pelo e-mail CEP@prpq.ufmg.br. Se você concordar em participar deste estudo, você poderá ser convidado para uma entrevista cujo áudio poderá ser gravado. Os registros da sua voz serão armazenados por cinco anos, posteriormente nós nos comprometemos em destruí-los. D. O seu nome será retirado do trabalho e substituído por um pseudônimo, caso seja necessário citar pessoas.

(2). Sobre os direitos dos participantes desta pesquisa: A. Você pode enviar perguntas sobre a pesquisa pelo e-mail lorryne.evangelistasousa@gmail.com, a qualquer momento, e tais questões serão respondidas. B. A sua participação é confidencial. Apenas os pesquisadores responsáveis terão acesso a sua identidade. C. Sua participação é voluntária. Você é livre para deixar de participar da pesquisa a qualquer momento, bem como para se recusar a responder qualquer questão sem qualquer punição. D. Este estudo envolve riscos mínimos. Todo cuidado será tomado para que suas respostas sejam confidenciais. Prosseguindo com o preenchimento do questionário, indica que você leu e compreendeu as informações fornecidas, concorda com as condições do estudo descritas, autoriza o uso da sua voz, que poderá ser gravada durante uma possível entrevista e, voluntariamente, aceita participar desta pesquisa. Portanto, concorda com tudo que está escrito acima e dá o seu consentimento. Você aceita participar desta pesquisa? Sim. Quero colaborar com esta pesquisa. Não estou certo de que quero colaborar com esta pesquisa.

ANEXO A - Documento aprovação CEP

UNIVERSIDADE FEDERAL DE
MINAS GERAIS



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DA EMENDA

Título da Pesquisa: Ensino de Genética, conceitos e aprendizagem

Pesquisador: Adlane Vilas Boas

Área Temática:

Versão: 5

CAAE: 88856618.6.0000.5149

Instituição Proponente: UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 4.068.550

Apresentação do Projeto:

A Genética assumiu nas últimas décadas um papel muito relevante que a faz uma disciplina necessária nas escolas e para o público em geral. Partimos do pressuposto que as pessoas que compreendem os conceitos e processos da Genética poderão ter uma visão mais crítica acerca dos avanços da ciência, bem como, suas implicações para a sociedade. No entanto, a subjetividade, a complexidade dessa disciplina bem como outros fatores contribuem para uma deficiência na aprendizagem e no entendimento de conceitos e processos essenciais na área. Este projeto de pesquisa visa a entender a formação de conceitos de genética no ensino formal e não-formal de Genética e o relacionamento com erros conceituais que dificultam o entendimento de processos básicos nesta disciplina. Os estudos se dão no ensino superior e ensino básico. Pretende-se trazer informações pertinentes ao desenvolvimento de metodologias didáticas para o aperfeiçoamento do ensino na área. Aqui estão englobados projetos de orientação de mestrado em dois programas de pós-graduação: PPG Genética e PROFBIO. Os assuntos são correlatos, as abordagens e metodologias são compartilhadas e os sujeitos da pesquisa são diferentes para cada uma das orientações, ou seja, alguns dos pesquisadores trabalharão com ensino médio e superior em diferentes contextos. Pretende-se adicionar protocolos detalhados de entrevistas e metodologia à medida que os mestrandos se aprofundarem nas revisões bibliográficas e suas pesquisas iniciais sobre os temas.

Endereço: Av. Presidente Antônio Carlos, 6627 2º Ad Sl 2005

Bairro: Unidade Administrativa II **CEP:** 31.270-901

UF: MG **Município:** BELO HORIZONTE

Telefone: (31)3409-4592

E-mail: coep@prpq.ufmg.br

UNIVERSIDADE FEDERAL DE
MINAS GERAIS



Continuação do Parecer: 4.068.550

Objetivo da Pesquisa:

Objetivo Primário:

Compreender processos de ensino e aprendizagem que envolvem conceitos de Genética no ensino superior e no ensino básico e desenvolver estratégias pedagógicas envolvendo os temas estudados.

Objetivo Secundário:

- Identificar, analisar e mapear as dificuldades e entendimento dos alunos a respeito de temas de Genética;
- Analisar o conteúdo das bibliografias mais utilizadas pelos alunos para estudar a matéria foco do projeto;
- Propor intervenções, como aulas práticas ou teóricas, e discutir sua eficácia na ressignificação de conceitos relacionados.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Sobre os riscos os/as proponentes afirmam que:

Risco de constrangimento considerados 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 às pesquisadoras para mudar de tópico ou não responder as perguntas.

Sobre os benefícios os/as proponentes afirmam que:

A pesquisa trará um benefício social, porque poderemos avaliar qual está sendo a dificuldade dos alunos de diferentes níveis escolares em entender questões genéticas como por exemplo os ciclos celulares e os processos moleculares e os termos envolvendo a dominância e recessividade dos caracteres fenotípicos. Uma vez que esse conhecimento será passado para outros estudantes

Endereço: Av. Presidente Antônio Carlos, 6627 2º Ad SI 2005

Bairro: Unidade Administrativa II **CEP:** 31.270-901

UF: MG **Município:** BELO HORIZONTE

Telefone: (31)3409-4592

E-mail: coep@prpq.ufmg.br

UNIVERSIDADE FEDERAL DE
MINAS GERAIS



Continuação do Parecer: 4.068.550

futuramente de uma forma correta isto poderá permitir ter uma boa base dos conteúdos de genética. Arelado a isso, é importante também que os estudantes possam desenvolver um conhecimento que os permita refletir, colaborar, entender, e participar de forma crítica de acontecimentos mundiais.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

A pesquisa em pauta tem relevância social e acadêmica. Trata-se de uma emenda ao projeto. A pesquisadora solicita:

1. Alteração no número de participantes da pesquisa.
2. Inclusão de cronograma de execução da pesquisa.
3. Inclusão de pesquisadora assistente.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Foram apresentados os seguintes documentos:

Folha de rosto
Solicitação de emenda no projeto de pesquisa
Informações Básicas do Projeto
Instrumento coleta de dados
Projeto de Pesquisa
Roteiro de entrevista
Parecer do Projeto de Pesquisa
Carta de justificativa
TCLE pais revisado
TCLE estudante revisado
TALE revisado
Carta resposta

Recomendações:

Endereço: Av. Presidente Antônio Carlos, 6627 2º Ad SI 2005
Bairro: Unidade Administrativa II **CEP:** 31.270-901
UF: MG **Município:** BELO HORIZONTE
Telefone: (31)3409-4592 **E-mail:** coep@prpq.ufmg.br

UNIVERSIDADE FEDERAL DE
MINAS GERAIS



Continuação do Parecer: 4.068.550

Não há. As proponentes atenderam todas as indicações.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Salvo melhor juízo, recomendamos a aprovação do projeto.

Considerações Finais a critério do CEP:

Tendo em vista a legislação vigente (Resolução CNS 466/12), o CEP-UFMG recomenda aos Pesquisadores: comunicar toda e qualquer alteração do projeto e do termo de consentimento via emenda na Plataforma Brasil, informar imediatamente qualquer evento adverso ocorrido durante o desenvolvimento da pesquisa (via documental encaminhada em papel), apresentar na forma de notificação relatórios parciais do andamento do mesmo a cada 06 (seis) meses e ao término da pesquisa encaminhar a este Comitê um sumário dos resultados do projeto (relatório final).

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_1519813_E1.pdf	11/05/2020 12:02:39		Aceito
Outros	CARTA_RESPOSTA_2020.pdf	11/05/2020 11:56:48	Adlane Vilas Boas	Aceito
Outros	Roteiro_Entrevista_2020.pdf	11/05/2020 11:55:57	Adlane Vilas Boas	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE_PAIS_Ensino_de_Genetica2020_modificado.pdf	11/05/2020 11:55:26	Adlane Vilas Boas	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE_Ensino_de_Genetica_2020_modificado.pdf	11/05/2020 11:54:19	Adlane Vilas Boas	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TALE_2020_modificado.pdf	11/05/2020 11:53:14	Adlane Vilas Boas	Aceito
Outros	INSTRUMENTO_COLETA_DADOS.pdf	03/03/2020 16:42:24	Adlane Vilas Boas	Aceito
Outros	CARTA_DE_JUSTIFICATIVA.pdf	03/03/2020 15:43:40	Adlane Vilas Boas	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE_Ensino_de_Genetica_2020.pdf	03/03/2020 15:42:18	Adlane Vilas Boas	Aceito

Endereço: Av. Presidente Antônio Carlos,6627 2º Ad SI 2005

Bairro: Unidade Administrativa II **CEP:** 31.270-901

UF: MG **Município:** BELO HORIZONTE

Telefone: (31)3409-4592

E-mail: coep@prpq.ufmg.br

UNIVERSIDADE FEDERAL DE
MINAS GERAIS



Continuação do Parecer: 4.068.550

TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE_PAIS_Ensino_de_Genetica2020.pdf	03/03/2020 15:41:58	Adlane Vilas Boas	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TALE_2020.pdf	03/03/2020 15:41:42	Adlane Vilas Boas	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projeto_COEP_Ensino_de_Genetica.pdf	28/06/2018 15:01:39	Adlane Vilas Boas	Aceito
Folha de Rosto	folha_de_rosto_para_pesquisa_envolvendo seres humanos.pdf	27/04/2018 18:05:23	Adlane Vilas Boas	Aceito
Outros	parecer_sobre_projeto_de_pesquisa.pdf	27/04/2018 17:36:27	Adlane Vilas Boas	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

BELO HORIZONTE, 03 de Junho de 2020

Assinado por:
Crissia Carem Paiva Fontainha
(Coordenador(a))

Endereço: Av. Presidente Antônio Carlos,6627 2º Ad SI 2005

Bairro: Unidade Administrativa II **CEP:** 31.270-901

UF: MG **Município:** BELO HORIZONTE

Telefone: (31)3409-4592

E-mail: coep@prpq.ufmg.br

ANEXO B - Inventário Conceitual de Meiose (adaptado de Kalas et al., 2013)

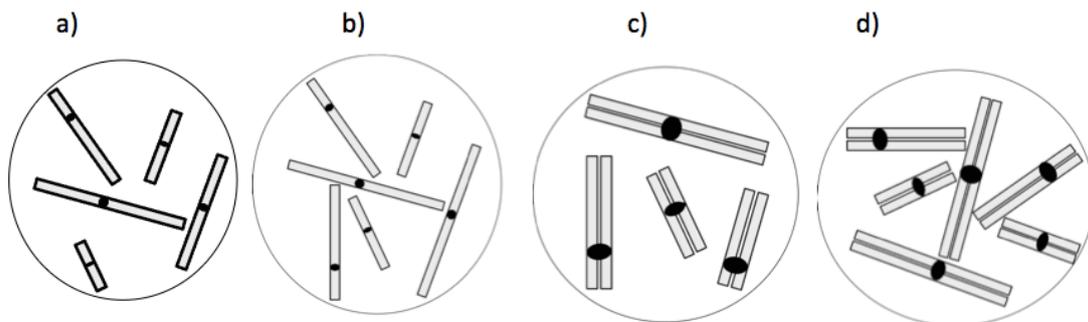
Questão 1 [selecione a melhor alternativa]

Uma das características que diferencia todas as células haploides de todas as células diploides é que

- a) as células haploides têm metade dos cromossomos que as células diploides.
- b) as células haploides têm um conjunto completo de cromossomos enquanto as células diploides têm dois.
- c) os cromossomos das células haploides têm uma estrutura/forma diferente dos cromossomos das células diploides.
- d) as células haploides têm metade da quantidade de DNA que as células diploides.

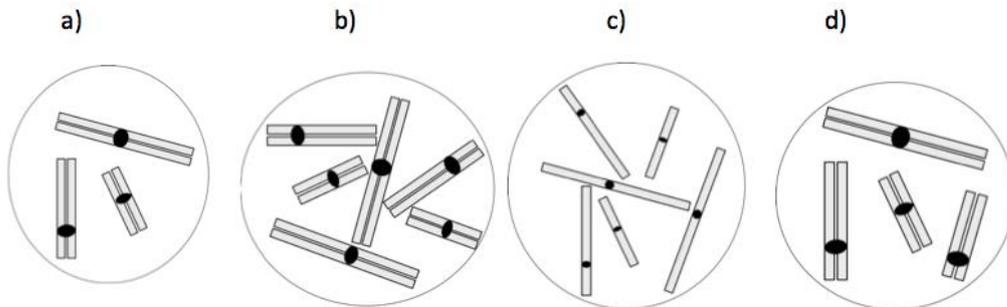
Questão 2 [selecione todas as alternativas que se aplicam]

Uma ou mais das células representadas abaixo são haploides. Qual é/quais são?



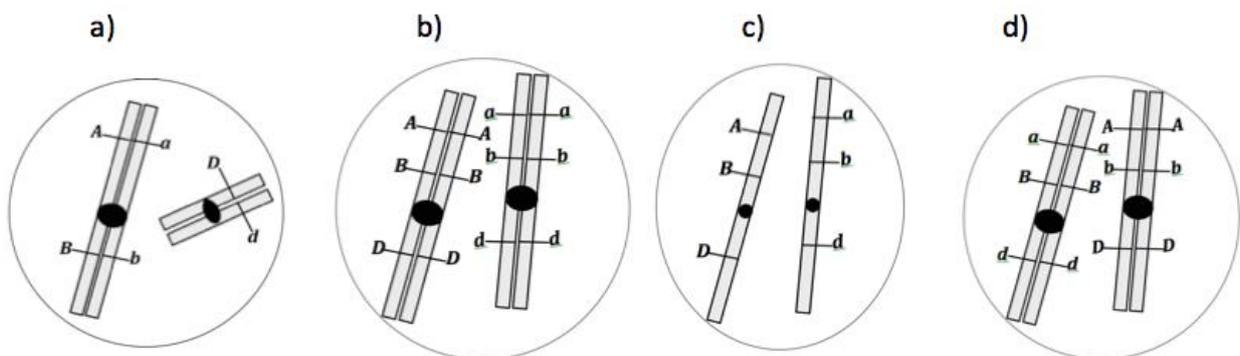
Questão 3 [selecione todas as alternativas que se aplicam]

Uma ou mais das células representadas abaixo são diploides. Qual é/quais são?



Questão 4 [selecione todas as alternativas que se aplicam]

Uma planta diploide de interesse tem um total de dois cromossomos por célula (somática) e seu genótipo é $AaBbDd$. Se supusermos que os cromossomos permanecem condensados ao longo do ciclo celular, qual dos diagramas abaixo poderia representar uma célula que contém os dois cromossomos dessa planta?



Questão 5 [selecione todas as alternativas que se aplicam]

Às vezes, os cromossomos são representados como “Xs” ou como na imagem à direita.

Esta imagem representa um

- a) cromossomo composto por duas cromátides irmãs.
- b) cromossomo que foi submetido à replicação do DNA.
- c) cromossomo em seu estado diploide.
- d) par de cromossomos homólogos.

**Questão 6** [selecione todas as alternativas que se aplicam]

Em uma célula eucariótica, a replicação do DNA resulta em um aumento no (a):

- a) quantidade de DNA nessa célula.
- b) número de cromossomos nessa célula.
- c) número de moléculas de DNA nessa célula.
- d) ploidia dessa célula (por exemplo, de $2n$ a $4n$).

Questão 7 [selecione todas as alternativas que se aplicam]

O objeto representado à direita é composto por

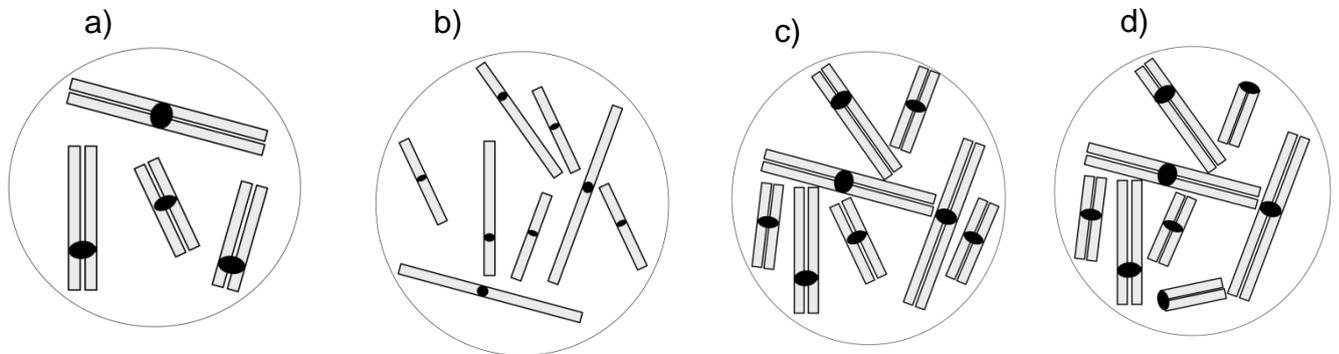
- a) quatro moléculas de DNA de fita simples.
- b) uma molécula de DNA de fita dupla.
- c) duas moléculas de DNA de fita dupla.
- d) duas moléculas de DNA de fita simples.



Questão 8

[selecione todas as alternativas que se aplicam]

Quais das células representadas abaixo contêm um total de oito cromossomos?

**Questão 9**

[selecione a melhor alternativa]

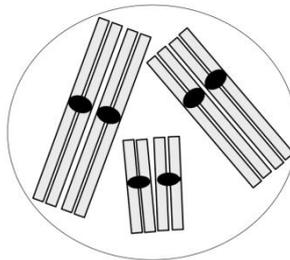
Qual é o número total de cromossomos na célula representada abaixo?

a) 2.

b) 3.

c) 6.

d) 12.

**Questão 10**

[selecione a melhor alternativa]

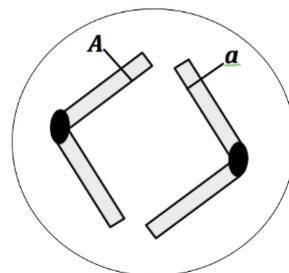
O diagrama abaixo provavelmente representa os cromossomos de uma célula na anáfase da

a) uma situação impossível.

b) meiose I.

c) meiose II.

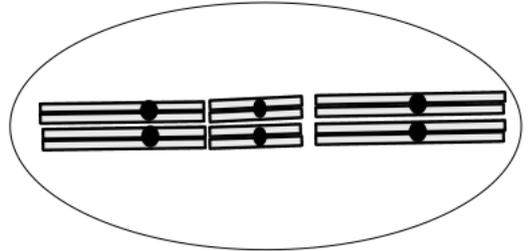
d) mitose.



Questão 11 [selecione a melhor alternativa]

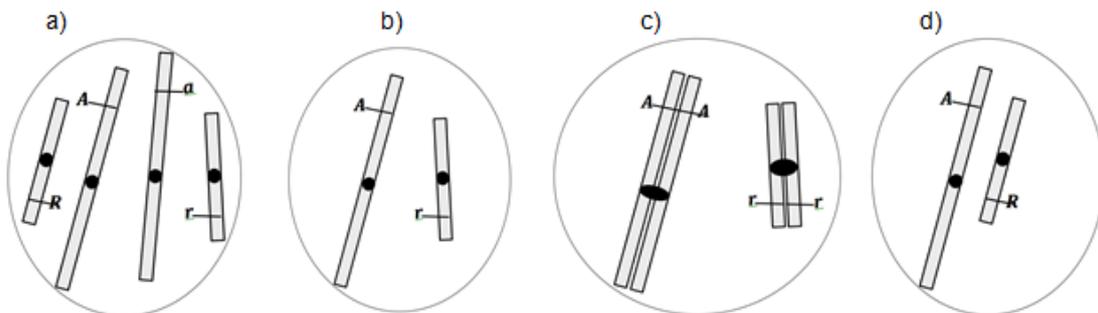
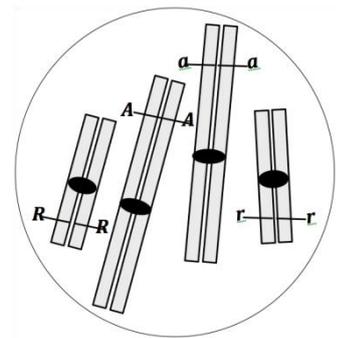
O diagrama à direita provavelmente representa os cromossomos de uma célula na metáfase da

- a) meiose I.
- b) meiose II.
- c) mitose.
- d) meiose II ou mitose (impossível dizer qual delas).



Questão 12 [selecione todas as alternativas que se aplicam]

Várias células, como a representada à direita, passam por uma meiose I e uma meiose II normais, de modo que cada célula produz quatro células filhas. Uma ou mais dessas células filhas são mostradas abaixo. Qual (is) delas poderia/poderiam ser?



ANEXO C - Roteiro de Entrevista

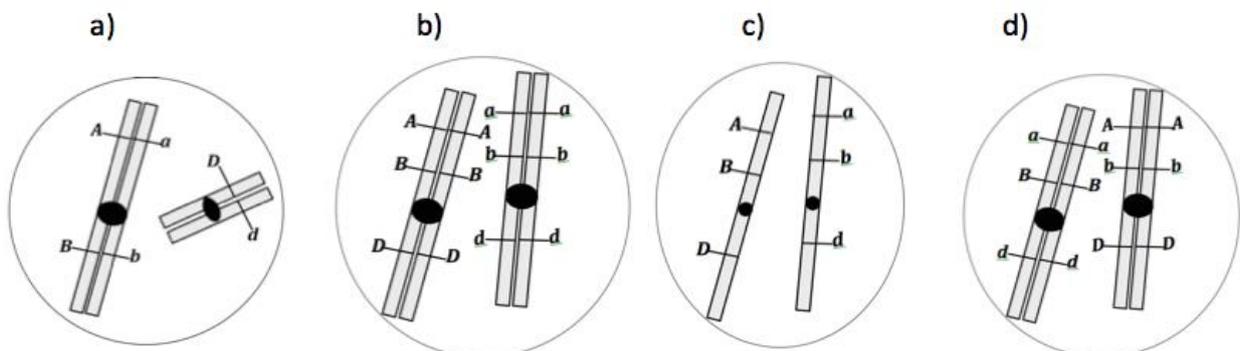
Questão 1 [selecione a melhor alternativa]

Uma das características que diferencia todas as células haploides de todas as células diploides é que

- as células haploides têm metade dos cromossomos que as células diploides.
- as células haploides têm um conjunto completo de cromossomos enquanto as células diploides têm dois.
- os cromossomos das células haploides têm uma estrutura/forma diferente dos cromossomos das células diploides.
- as células haploides têm metade da quantidade de DNA que as células diploides.

Questão 4 [selecione todas as alternativas que se aplicam]

Uma planta diploide de interesse tem um total de dois cromossomos por célula (somática) e seu genótipo é AaBbDd. Se supusermos que os cromossomos permanecem condensados ao longo do ciclo celular, qual dos diagramas abaixo poderia representar uma célula que contém os dois cromossomos dessa planta?



Questão 5 [selecione todas as alternativas que se aplicam]

Às vezes, os cromossomos são representados como “Xs” ou como na imagem à direita.

Esta imagem representa um

- a) cromossomo composto por duas cromátides irmãs.
- b) cromossomo que foi submetido à replicação do DNA.
- c) cromossomo em seu estado diploide.
- d) par de cromossomos homólogos.

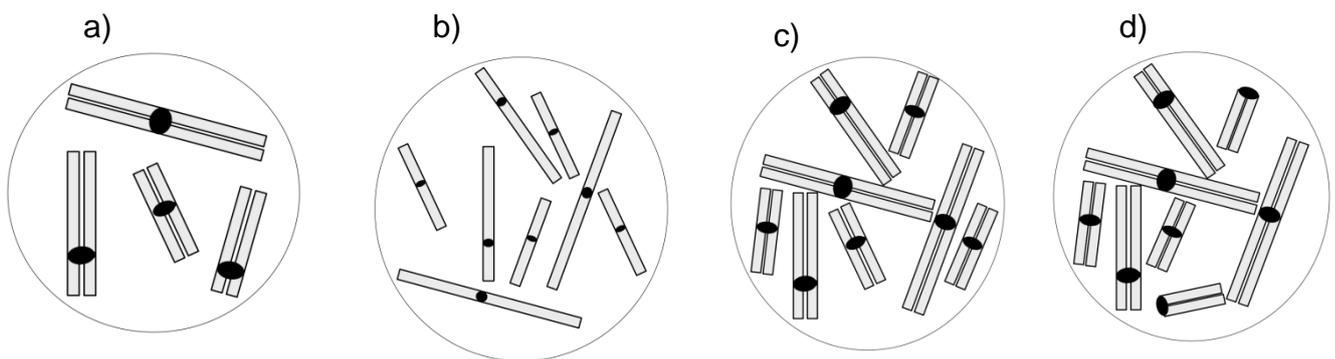
**Questão 6** [selecione todas as alternativas que se aplicam]

Em uma célula eucariótica, a replicação do DNA resulta em um aumento no (a):

- a) quantidade de DNA nessa célula.
- b) número de cromossomos nessa célula.
- c) número de moléculas de DNA nessa célula.
- d) ploidia dessa célula (por exemplo, de $2n$ a $4n$).

Questão 8 [selecione todas as alternativas que se aplicam]

Quais das células representadas abaixo contêm um total de oito cromossomos?

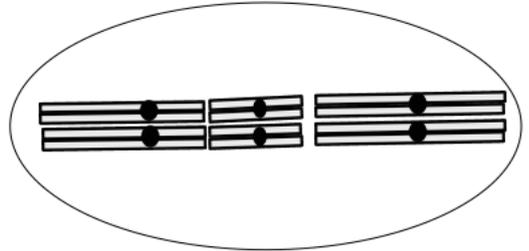


Questão 11

[selecione a melhor alternativa]

O diagrama à direita provavelmente representa os cromossomos de uma célula na metáfase da

- a) meiose I.
- b) meiose II.
- c) mitose.
- d) meiose II ou mitose (impossível dizer qual delas).

**Questão 12**

[selecione todas as alternativas que se aplicam]

Várias células, como a representada à direita, passam por uma meiose I e uma meiose II normais, de modo que cada célula produz quatro células filhas. Uma ou mais dessas células filhas são mostradas abaixo. Qual (is) delas poderia/poderiam ser?

