




Meiose na Educação Básica: Análise de Concepções Docentes e Implicações para o Ensino

Meiosis in Basic Education: Analysis of Teachers' Conceptions and Implications for Teaching

La Meiosis en la Educación Básica: Análisis de las Concepciones Docentes e Implicaciones para la Enseñanza

Lorrayne Evangelista de Sousa,  Marina de Lima Tavares,  e Adlane Vilas-Boas 

Resumo

O presente estudo tem como objetivo investigar as concepções docentes acerca do tema meiose, visando contribuir para o campo de investigação em Ensino de Ciências, fornecendo subsídios que promovam a compreensão bem como a superação de dificuldades associadas à apropriação de conhecimentos genéticos. Ademais, busca-se suprir a escassez existente na literatura da área Ensino de Genética quanto a investigações que tenham como foco principal professores em efetivo exercício da docência. Para a coleta de dados, foi utilizado o Inventário Conceitual de Meiose (ICM), instrumento previamente publicado e validado por pesquisadores norte-americanos. O ICM foi empregado pela primeira vez no Brasil, por nosso grupo de pesquisa, em uma adaptação destinada a identificar concepções alternativas entre estudantes e professores. Foram analisadas as concepções de 318 professores em exercício. Os resultados incluem uma análise comparativa com licenciandos em Ciências Biológicas, provenientes de uma pesquisa anterior com dados gerados pelo mesmo instrumento. Os docentes tiveram um desempenho geral inferior ao dos graduandos, embora ambos os grupos tenham demonstrado uma prevalência significativa de concepções alternativas sobre conceitos genéticos elementares relacionados à meiose. Os resultados revelam uma compreensão limitada desse processo biológico por parte dos pesquisados, o que representa um obstáculo para a concretização do ensino desse tema na educação básica e configura um ponto importante de atenção para os programas de formação docente.

Palavras-chave: ensino de genética, concepções de professores, concepções alternativas, aprendizagem conceitual, divisão celular

Abstract

This study aims to investigate teachers' conceptions regarding the topic of meiosis, with the goal of contributing to the field of science education research by providing insights that support the understanding and overcoming of difficulties related to the appropriation of genetic knowledge. Additionally, it seeks to address a gap in the literature on genetics education, particularly the lack of studies focused on in-service teachers. For data collection, the Meiosis Concept Inventory (MCI) was used—a tool previously developed and validated by American researchers. Our research group adapted and employed the MCI for the first time in Brazil, with the purpose of identifying alternative conceptions held by both students and teachers. The conceptions of 318 in-service teachers were analyzed. The results include a comparative analysis with undergraduate students in Biological Sciences, based on data from a previous study that used the same instrument. Overall, the in-service teachers performed worse than the undergraduates, although both groups exhibited a significant prevalence of alternative conceptions concerning basic genetic concepts related to meiosis.

These findings reveal a limited understanding of this biological process among participants, which poses a challenge for effectively teaching this topic in basic education and highlights a critical area of concern for teacher training programs.

Keywords: genetics education, teacher conceptions, alternative conceptions, conceptual learning, cell division

Resumen

El presente estudio tiene como objetivo investigar las concepciones docentes sobre el tema de la meiosis, con miras a contribuir al campo de investigación en la Enseñanza de las Ciencias, proporcionando insumos que favorezcan la comprensión y la superación de dificultades asociadas a la apropiación de conocimientos genéticos. Asimismo, se busca subsanar la escasez existente en la literatura del área de Enseñanza de la Genética en lo que respecta a investigaciones cuyo foco principal sean docentes en ejercicio activo. Para la recolección de datos, se utilizó el Inventario Conceptual de Meiosis (ICM), un instrumento previamente publicado y validado por investigadores estadounidenses. El ICM fue empleado por primera vez en Brasil por nuestro grupo de investigación, en una adaptación cuyo objetivo fue identificar concepciones alternativas entre estudiantes y docentes. Se analizaron las concepciones de 318 profesores en ejercicio. Los resultados incluyen un análisis comparativo con estudiantes de grado en Ciencias Biológicas, provenientes de una investigación anterior basada en datos generados con el mismo instrumento. Los docentes obtuvieron un desempeño general inferior al de los estudiantes de grado, aunque ambos grupos mostraron una prevalencia significativa de concepciones alternativas sobre conceptos genéticos elementales relacionados con la meiosis. Los resultados revelan una comprensión limitada de este proceso biológico por parte de los encuestados, lo cual representa un obstáculo para la enseñanza efectiva de este tema en la educación básica, y constituye un punto crítico de atención para los programas de formación docente.

Palabras clave: enseñanza de genética, concepciones de los profesores, concepciones alternativas, aprendizaje conceptual, división celular

Introdução

A alfabetização científica é um conceito complexo e multifacetado, que se apresenta de maneira plural tanto na linguística quanto na semântica. Apesar disso, as diferentes abordagens não são vistas como excludentes, mas sim como complementares (Silva & Sasseron, 2021). A ideia central de uma visão mais moderna da alfabetização, que acompanha as exigências do século XXI, é que a formação científica do estudante deve ir além da simples acumulação de conceitos, fenômenos e processos. Ela deve estar voltada para a capacidade de transformação social dos indivíduos, como defendido por Valladares (2021), e não apenas para a aprendizagem de conteúdos abstratos (Sasseron & Carvalho, 2011).

O papel do professor na concretização da alfabetização científica é o de favorecer o acesso e facilitar a compreensão de conceitos científicos, frequentemente restritos à comunidade científica, como algo oculto, além da compreensão humana (Chassot, 2003). Silva e Sasseron (2021) delineiam três eixos estruturantes que sustentam a AC: (1) a compreensão dos conceitos científicos, (2) o entendimento da natureza e das

práticas científicas, e (3) o reconhecimento das interconexões entre ciência, tecnologia, sociedade e meio ambiente. Embora neste estudo o eixo estruturante sobre aprendizagem conceitual seja enfatizado, entende-se que este não deve ser exclusivamente trabalhado em detrimento dos demais, pois todas as dimensões da alfabetização científica são interdependentes e essenciais. O desenvolvimento de competências para compreender e aplicar conceitos científicos é parte integrante de um processo mais amplo de formação voltado à promoção de maior ativismo social e prática cidadã (Valladares, 2021).

A apropriação da linguagem científica é um dos maiores desafios da alfabetização científica, pois se distingue da linguagem cotidiana em diversos aspectos, como objetividade, precisão, ausência de um sujeito, além do seu caráter formal e técnico, contrastando com a linguagem contextualizada, narrativa e linear do dia a dia (Mortimer et al., 1998). No contexto dessa linguagem especializada, os conceitos científicos são construções humanas utilizadas para interpretar e explicar o mundo natural e, como tais, podem ser falíveis e mutáveis ao longo do tempo, a exemplo do conceito de gene (Joaquim & El-Hani, 2010).

No eixo estruturante sobre aprendizagem conceitual da alfabetização científica, os estudantes já possuem conhecimento prévio construído a partir de suas experiências cotidianas e escolares. Esses conhecimentos prévios formam uma rede conceitual em constante reestruturação, à medida que novos conceitos são aprendidos e integrados (Carvalho et al., 2020). Para que essa aprendizagem seja eficaz, o professor precisa criar situações de ensino que favoreçam a aquisição de novos conceitos, conectando-os ao que os estudantes já sabem. Isso exige do docente não apenas domínio de conteúdos específicos, mas também compreensão profunda do processo de ensino-aprendizagem e das práticas pedagógicas adequadas a cada contexto.

Contudo, especialmente na Genética, o desenvolvimento do eixo conceitual é um desafio devido à plasticidade presente na definição de conceitos científicos, à densidade conceitual, à complexidade de termos que definem entidades abstratas e às estruturas e processos de difícil visualização. A importância da habilidade de abstração nessa área decorre do fato de que a compreensão em nível macroscópico ou fenotípico requer transitar por níveis biológicos não diretamente acessíveis aos sentidos dos estudantes, como o microscópico e o molecular, além da manipulação de dados numéricos e estatísticos aplicados ao estudo dos fenótipos (Carvalho & Santiago, 2020; Wright et al., 2022; Wright et al., 2017).

No ensino de Genética, a meiose é tema fundamental para a compreensão de fenômenos biológicos, como a evolução das espécies, a herança genética e o ciclo de vida dos organismos, além de englobar todas as dificuldades supracitadas. A literatura sobre o tema revela que as concepções alternativas (CA) são enraizadas e mantêm padrões recorrentes em relação a alguns conceitos, persistindo após a escolaridade e podendo ser encontradas entre estudantes de diferentes culturas e sistemas educacionais (Carvalho & Santiago, 2020; Gil et al., 2018; Guerra et al., 2022; Wright et al., 2020).

Entende-se por CA ideias desenvolvidas por estudantes que diferem significativamente de concepções cientificamente aceitas e discussões acadêmicas (Dove, 1998). É importante ressaltar que essas CA, apesar de não representarem o conhecimento científico, podem coexistir com ele conscientemente (Mortimer, 1996) ou interferir no processo de ensino-aprendizagem quando se mostram claramente conflitantes (Dove, 1998). A propagação dessas concepções pode ser facilitada por metodologias que não consideram as dificuldades conceituais dos estudantes, pelo recurso a livros didáticos que não abordam de forma clara e precisa certos conceitos ou disseminadas por professores que não possuem domínio conceitual.

No entanto, não encontramos estudos na literatura sobre as concepções docentes relacionadas a conceitos genéticos associados à meiose. Apesar do papel fundamental do professor nos processos de aprendizagem, as pesquisas em Educação em Ciências têm concentrado-se na análise das CA compartilhadas por estudantes, seja na educação básica ou superior. Os frequentes relatos de persistência dessas concepções, notavelmente estáveis e arraigadas, juntamente com a dificuldade de compreensão de conceitos científicos, incentivam investigações que busquem compreender as causas subjacentes.

Neste estudo, entende-se a importância de investigar a compreensão do tema meiose entre professores da educação básica como continuidade do trabalho realizado por nosso grupo no ensino superior com professores em formação (Sousa et al., 2023). O professor em exercício, peça fundamental no desenvolvimento da alfabetização científica, pode trazer importantes contribuições para a pesquisa em Ensino de Ciências, fornecendo subsídios para a compreensão e superação de problemas existentes na aquisição de conhecimentos genéticos. Trabalhos como este podem balizar o desenvolvimento e a aplicação de estratégias e recursos didático-pedagógicos, promover a melhoria da formação e prática docente, conscientizar professores universitários, orientar reformas curriculares, além de estimular a autorreflexão e o desenvolvimento profissional, evitando a propagação de informações não científicas.

Considerando que o professor é peça-chave na internalização de conceitos, competências e habilidades pelas quais os estudantes mobilizam em situações práticas da vida cotidiana, o objetivo deste estudo é investigar se existem CA no entendimento de professores de Ciências ou Biologia sobre o processo de meiose e, em caso afirmativo, identificar a natureza dessas concepções. Além disso, buscou-se analisar se as possíveis CA presentes entre os professores coincidem com aquelas compartilhadas por licenciandos em Ciências Biológicas identificadas previamente (Sousa et al., 2023), a fim de verificar um possível ciclo de propagação de CA entre professores, que persistem desde a formação inicial até a prática docente bem documentadas na literatura entre estudantes.

A pesquisa voltada para docentes é fundamental, uma vez que a consolidação de concepções não científicas representa um obstáculo para o desenvolvimento da alfabetização científica. Esse desafio se manifesta desde o desenvolvimento do eixo conceitual da alfabetização, sua contextualização e compreensão de processos mais

complexos, até a aplicação do conhecimento científico à vida cotidiana, na sociedade, no meio ambiente e nas interações socioculturais. A persistência de CA não apenas dificulta a atualização constante de saberes derivados dos avanços científicos e tecnológicos na área da Genética, mas também favorece a predominância de abordagens tradicionais nas práticas pedagógicas, comprometendo a implementação de inovações educacionais capazes de romper a fragilidade no ensino de temas dessa área, como o processo de meiose.

Percurso Metodológico

Neste artigo, é apresentado recorte de uma pesquisa de doutorado iniciada no ano de 2023 em uma universidade brasileira. É feito uso de abordagem quantitativa — baseada na aplicação de um instrumento de coleta de dados específico. A amostra da população objeto do estudo deriva de professores de um estado brasileiro, e os dados foram coletados no primeiro semestre de 2023 por meio desse instrumento, cuja finalidade inicial foi fornecer descrições estatísticas sobre as CA prevalentes a respeito do tema meiose entre os respondentes. Trata-se de uma survey interseccional, cujos dados foram obtidos em um momento específico a partir de amostras paralelas: 318 professores da educação básica em exercício nos componentes curriculares Ciências ou Biologia e 45 licenciandos em Ciências Biológicas, ambos considerados relevantes para o problema de pesquisa.

O estudo utilizou o Inventário Conceitual de Meiose (ICM), em sua versão adaptada, como instrumento de coleta de dados¹. Ressalta-se que o ICM foi introduzido no Brasil por nosso grupo de pesquisa, em um estudo anterior que marcou a primeira aplicação de um inventário no país na área de Biologia, visando à investigação de CA. O ICM foi originalmente desenvolvido por Kalas et al. (2013) na Universidade da Colúmbia Britânica. Inventários conceituais (IC) são usados para diagnosticar o entendimento dos estudantes sobre temas em que persistem CA. Embora se assemelhem a testes de múltipla escolha, os IC se diferenciam por incluir distratores baseados em pesquisas extensivas para representar CA comuns. Esses instrumentos permitem avaliar o nível de entendimento conceitual dos estudantes e identificar em que ponto seu raciocínio se estagnou. A elaboração de IC envolve um processo sistemático, que inclui revisão bibliográfica, aplicação de testes piloto e entrevistas com especialistas e estudantes (Adams & Wieman, 2011).

O ICM abrange as seguintes categorias conceituais: ploidia; relações entre a quantidade de DNA, número de cromossomos e ploidia; cronologia dos principais eventos durante a meiose; representação pictórica dos cromossomos; propósito e resultado da meiose; diferenças entre mitose e meiose; e outros eventos celulares. Os itens do ICM estão distribuídos entre itens de múltipla escolha convencionais e de formato de resposta múltipla; nestes, os estudantes podem selecionar todas as alternativas que considerarem corretas. Os itens também são classificados de acordo com a Taxonomia

1 Sousa, L., Tavares, M., & Vilas-Boas, A. (2025). *Inventário Conceitual de Meiose*. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.17651626>

de Bloom do Domínio Cognitivo², que organiza as habilidades de aprendizagem de maneira hierárquica e cumulativa, em níveis crescentes de complexidade, a saber: Conhecimento, Compreensão, Aplicação, Análise, Síntese e Avaliação (Anderson et al., 2001; Cullinane & Liston, 2016).

A aplicação do ICM se deu por meio de formulário on-line na plataforma *Google Forms*, a fim de alcançar uma adesão maior de respondentes. Os educadores que consentiram em integrar-se a este estudo responderam a questões adicionais, além daquelas relativas ao conhecimento profissional, para delinear o perfil dos pesquisados.

Para encaminhamento do convite às escolas de dependência administrativa estadual, o projeto e o Parecer Consubstanciado do CEP³ foram submetidos à análise da Subsecretaria de Ensino Superior da Secretaria de Estado de Educação de Minas Gerais (SEE-MG). A autorização envolveu o preenchimento de um Termo de Compromisso para uso, guarda e divulgação de dados de pesquisa.

O e-mail contendo informações gerais sobre este projeto, o link do instrumento de coleta de dados e demais instruções pertinentes foi encaminhado às instituições de ensino estaduais por intermédio das Superintendências Regionais de Ensino (SRE) dos municípios de Minas Gerais e diretamente ao e-mail institucional das escolas. A tentativa de contato com as escolas particulares se deu por meio do Sindicato das Escolas Particulares de Minas Gerais (Sinepe MG).

No momento do convite para as escolas, houve a preocupação em explicitar aos professores os objetivos e a importância deste estudo para o progresso do ensino e da aprendizagem em Genética, com a intenção de motivá-los a participar. A fim de garantir a transparência dos resultados, os professores foram orientados a resolver o instrumento sem consulta a materiais de apoio.

As análises quantitativas foram desenvolvidas distribuindo a pontuação dos itens dicotomicamente: um ponto para itens corretos e zero para itens incorretos. Não foi atribuída pontuação parcial em itens de resposta múltipla (RM) quando as alternativas assinaladas não correspondiam integralmente ao gabarito correto. O percentual de seleção de cada alternativa particular ou de combinações destas (a+b, a+b+d, a+c...) permitiu identificar o desempenho geral, o percentual de acerto em cada item, padrões de respostas incorretas e itens cuja distribuição de alternativas selecionadas mais se aproximava da concepção científica.

2 A Taxonomia de Bloom do Domínio Cognitivo é uma referência clássica para a organização hierárquica de habilidades cognitivas desenvolvidas no processo de aprendizagem. Proposta por Bloom et al. (1956) e revisada por Anderson e Krathwohl (2001), a taxonomia estrutura objetivos educacionais em níveis crescentes de complexidade. No ICM, os itens foram classificados em quatro desses níveis: Conhecimento (recordação de informações), Compreensão (interpretação de conteúdos), Aplicação (uso do conhecimento em situações novas) e Análise (identificação de relações e estruturas conceituais).

3 Esta pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da Universidade Federal de Minas Gerais, sendo aprovada pelo parecer substanciado 88856618.6.0000.5149, em que foram considerados os princípios éticos da pesquisa em educação, preservando a identidade, privacidade, segurança e o bem-estar dos participantes. Os professores concordaram com o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.

Visando identificar a preferência por distratores específicos em detrimento da(s) alternativa(s) corretas, os itens foram categorizados conforme proposto por Smith & Knight (2012) da seguinte forma: 1. Nenhuma dificuldade óbvia: quando 80% ou mais dos professores responderam corretamente determinado item; 2. Nenhuma ideia incorreta específica: quando menos de 80% dos professores responderam corretamente um item, porém nenhum distrator ou combinações específicas destes foram selecionados preferencialmente em detrimento das demais alternativas ou combinações possíveis; 3. Quando menos de 80% dos professores responderam corretamente a um item e mais de 20% selecionaram preferencialmente um distrator específico ou uma combinação específica destes. Essa resposta incorreta específica selecionada por 20% ou mais dos professores foi denominada Concepção Alternativa Comum (CAC). Para analisar as proporções de seleção de alternativas corretas em comparação com os distratores preferencialmente selecionados pelos professores em cada item, o teste de homogeneidade de qui-quadrado foi aplicado (Agresti, 2007).

Além da análise dos dados coletados com os professores regentes, esta pesquisa também incorporou um estudo comparativo com dados provenientes de uma investigação de mestrado realizada por nosso grupo entre 2019 e 2021. Naquele estudo, 70 graduandos em Ciências Biológicas de uma universidade pública brasileira responderam, em setembro de 2020, a 12 itens do ICM (Sousa et al., 2023). Para fins de comparação, foram selecionados 45 licenciandos desse grupo, considerando que o foco desta pesquisa está nos professores — em formação e em exercício. A comparação entre os grupos envolveu o desempenho geral e por item, bem como as principais CA compartilhadas em relação aos conceitos genéticos avaliados.

Para analisar o desempenho geral dos professores em exercício e licenciandos, o cálculo realizado considerou o número de acertos dentre os diferentes números de itens a que ambos os grupos foram submetidos. Foi aplicado o teste de Shapiro-Wilk, sob a hipótese nula de que as notas seguem uma distribuição normal (Kabacoff, 2015). Devido à não normalidade, recorreu-se ao teste não-paramétrico de Mann-Whitney, sob a hipótese nula de que não há diferença entre as notas obtidas pelos grupos (Weaver et al., 2017). A análise comparativa do número de acertos por item entre os respondentes foi conduzida segundo o teste de independência de Fisher, sob a hipótese nula de que as variáveis são independentes (Agresti, 2007).

Por fim, uma análise comparativa foi realizada para avaliar as diferenças no desempenho dos professores em exercício segundo o tempo de experiência e nível de formação, utilizando o teste de Kruskal-Wallis, sob a hipótese nula de que não há diferenças significativas nas notas dos professores. Em seguida, foi realizado o pós-teste de Dunn com correção de Bonferroni, para identificar quais grupos são estatisticamente diferentes. Em todos os testes estatísticos realizados, foi considerado um nível de significância $\alpha = 5\%$. As análises foram realizadas com o auxílio do software R (R Core Team, 2023).

Resultados e Discussão

Perfil dos Professores Participantes

Os docentes participantes desta pesquisa atuam em instituições de ensino estaduais e privadas. A maioria dos respondentes (91,1%) pertence à rede estadual de ensino. Os professores são provenientes de 166 municípios do estado de Minas Gerais, que, ao todo, possui 853 municípios (IBGE, 2022). O número de docentes por município variou entre 1 e 9 participantes. O estudo foi realizado com professores dos anos finais do Ensino Fundamental e do Ensino Médio, uma vez que o tema central desta pesquisa está presente no currículo de ambos os níveis de ensino em Minas Gerais (Currículo Referência de Minas Gerais, 2025). Aproximadamente 70% dos docentes responderam quanto ao curso de formação inicial; destes, 91% são formados em Ciências Biológicas e os demais são formados em outras áreas das Ciências da Natureza ou Ciências da Saúde, como Física, Química, Enfermagem e Nutrição. Importante ressaltar que professores licenciados em áreas afins podem atuar no ensino básico, especialmente em contextos onde há escassez de professores formados em Ciências Biológicas.

O grupo de professores desta pesquisa se mostrou heterogêneo em termos de formação acadêmica e experiência profissional. O desempenho geral dos docentes foi medido considerando a média de acertos nos 15 itens considerados e a mediana.

Considerando o fator tempo de experiência, não houve diferença significativa entre os grupos ($p = 0,54$). Os professores com menos de 10 anos de experiência tiveram uma média de $3,6 \pm 2,8$, assim como os professores com mais de 20 anos ($3,6 \pm 2,8$). Já os professores com 10 a 20 anos de experiência apresentaram uma média ligeiramente maior, de $4,2 \pm 3,5$, embora a mediana para todos os grupos fosse de 3,0 (Tabela 1). Portanto, a distribuição dos desempenhos entre diferentes faixas de experiência sugere que a experiência não se correlaciona diretamente com um melhor desempenho. Embora a maioria dos professores com 10 a 20 anos tenha alcançado o aproveitamento igual ou superior a 60%, a diferença em relação aos grupos com menos de 10 anos e mais de 20 anos de experiência não é suficiente para concluir que a experiência é um fator determinante para a compreensão dos conceitos genéticos avaliados.

Em relação à formação, 61,7% dos docentes possuíam ensino superior completo, 2,5% ensino superior incompleto e os demais 35,8% possuíam pós-graduação concluída ou em curso. Dos 34 professores que alcançaram um desempenho igual ou superior a 60% de aproveitamento, 76,5% possuíam pós-graduação concluída ou em curso (mestrado, doutorado e especializações), o que sugere uma correlação entre a formação continuada e a compreensão dos conceitos abordados no ICM. Entretanto, a área específica de pós-graduação não foi informada na coleta de dados.

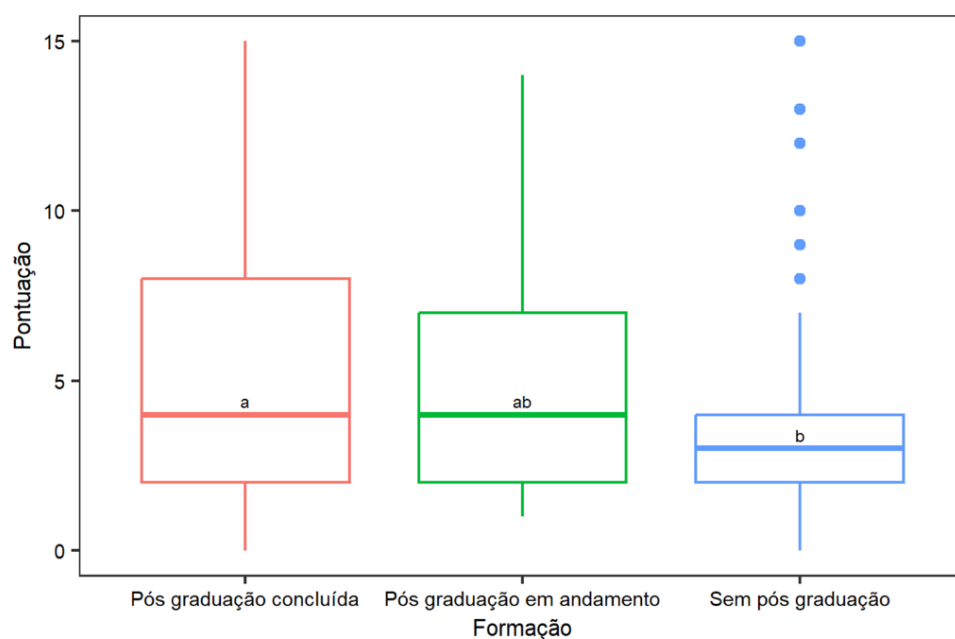
Tabela 1*Análise Comparativa da Pontuação Segundo Formação e Tempo de Experiência dos Professores*

Fator	Grupo	N	Média \pm DP	Mediana	Kruskal-Wallis, p
Formação	Pós-graduação concluída	85	5,2 \pm 3,8	4,0	< 0,001
	Pós-graduação em andamento	29	4,9 \pm 3,9	4,0	
	Sem pós-graduação	204	3,1 \pm 2,4	3,0	
Experiência	<10 anos	107	3,6 \pm 2,8	3,0	0,54
	10-20 anos	129	4,2 \pm 3,5	3,0	
	>20 anos	79	3,6 \pm 2,8	3,0	

Nota. N: número de observações; DP: desvio-padrão.

Os professores com pós-graduação concluída apresentaram uma média de pontuação maior (5,2 \pm 3,8) em comparação aos que estavam com a pós-graduação em andamento (4,9 \pm 3,9) e aos professores sem pós-graduação (3,1 \pm 2,4), com uma diferença significativa ($p < 0,001$) de acordo com o teste de Kruskal-Wallis. A mediana foi de 4,0 para os dois primeiros grupos e de 3,0 para o último (Tabela 1).

A Figura 1 mostra a distribuição das pontuações de professores de acordo com sua formação e a análise utilizando o teste de Dunn com correção de Bonferroni. As comparações entre grupos são indicadas por letras, em que grupos que compartilham a mesma letra não apresentam diferenças estatisticamente significativas. Os dados da figura sugerem que professores com pós-graduação concluída obtiveram pontuações mais altas em comparação aos sem pós-graduação. Professores com pós-graduação em andamento apresentam uma pontuação intermediária, sem diferença em relação aos outros grupos.

Figura 1*Distribuição das Pontuações dos Professores Segundo Formação*

Nota. Grupos com a mesma letra não são estatisticamente diferentes a 5% de significância.

Os resultados sugerem que fatores além do tempo de magistério influenciam na persistência de CA. Esses fatores podem incluir a formação inicial e continuada, por exemplo, em que saberes inconsistentes podem ter sido consolidados ou não foram superados. Em áreas afins, no entanto, como a Evolução Biológica, a experiência profissional se mostrou fundamental para a compreensão de conceitos e identificação de CA por parte de professores em exercício da Alemanha (Hartelt et al., 2022b).

Sobre a formação acadêmica, embora a área de pós-graduação não tenha sido informada pelos professores, o desempenho superior dos docentes pós-graduados pode estar associado ao desenvolvimento pessoal e profissional que a pós-graduação proporciona. Esse processo de formação avançada não só resulta na aquisição de novas habilidades técnicas e especializadas, mas também fortalece competências essenciais, como o senso crítico, a capacidade analítica e a habilidade de resolver problemas complexos.

Filho et al. (2021) ressaltam que cursos de formação continuada em Genética — apesar de não serem reportados com frequência na literatura — podem contribuir para mitigar uma formação universitária ineficiente, especificamente no uso de metodologias ativas (úteis para visualização de processos que ocorrem a nível molecular e celular) e superação de dificuldades de compreensão de temáticas nessa área. Os autores relatam a participação enriquecedora de professores de Biologia do Ensino Médio em um curso de formação continuada em Genética. Dificuldades teóricas e práticas foram minimizadas por meio de revisões conceituais e da apresentação de metodologias alternativas, que levavam em conta as inteligências múltiplas dos estudantes.

Embora os cursos de formação continuada não estejam necessariamente associados apenas à autopercepção dos professores quanto às suas necessidades conceituais, mas também relacionados à busca por progressão na carreira e melhoria salarial, é inegável que representam um caminho importante para o aprimoramento da educação básica, uma vez que contribuem para a complementação e o fortalecimento da formação inicial docente. Contudo, em Genética, são escassos os relatos desses cursos na literatura (Filho et al., 2021; Marques et al., 2017), o que ressalta a importância da criação de outros nessa área marcada por constantes atualizações.

Estudo Comparativo entre Professores em Formação e em Exercício: Concepções Alternativas sobre o Processo de Meiose

Um estudo anterior, realizado por nosso grupo em uma universidade pública brasileira nos anos de 2019 a 2021, relatou CA compartilhadas por calouros e licenciandos veteranos em Ciências Biológicas sobre conceitos básicos relacionados ao processo de meiose. As concepções foram identificadas a partir da aplicação de 12 itens do ICM e entrevistas cognitivas. Os licenciandos, que já haviam cursado disciplinas de Genética e outras relacionadas, tiveram desempenho semelhante no ICM comparado ao de calouros, que ainda não haviam tido contato com esses conteúdos na graduação.

Além disso, em relação a muitos conceitos abordados no inventário, ambos os grupos analisados compartilhavam as mesmas CA, como sobre ploidia celular, estrutura cromossômica e processos moleculares subjacentes, apesar da maior experiência acadêmica dos veteranos (Sousa et al., 2023). Esse fato intrigante levou à condução de um estudo comparativo entre os licenciandos e professores em efetivo exercício da docência, visando compreender a persistência ou superação de CA ao longo da experiência profissional.

Nesta seção, buscou-se comparar o entendimento sobre o processo de meiose de licenciandos e professores em exercício a partir dos seguintes critérios: desempenho geral e por item no ICM e CA compartilhadas. Analisando o desempenho geral dos licenciandos ($N = 45$) e professores ($N = 318$) submetidos ao ICM, observou-se que os grupos obtiveram médias de pontuação de 3,57 ($DP = 2,21$) e 2,56 ($DP = 2,07$), com medianas de 3,33 e 2,00, respectivamente. O valor de p do teste de Mann-Whitney ($p < 0,001$), comparando os valores entre os grupos, levou à conclusão de que a diferença nas notas entre licenciandos e professores é significativa, indicando que os licenciandos obtiveram um desempenho superior comparado ao dos professores em exercício nos itens considerados.

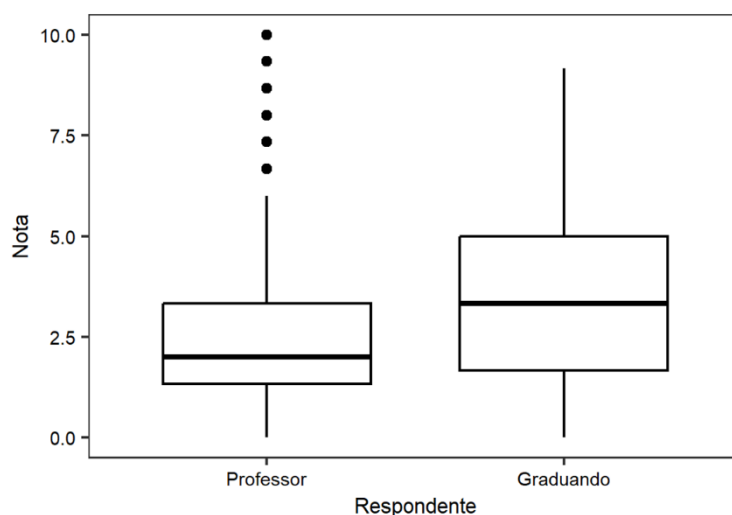
Neste estudo, a amostra de professores ($N = 318$) foi substancialmente maior que a de graduandos ($N = 45$). Essa diferença se deve à disponibilidade de participantes e à abrangência dos estudos, pois os graduandos participantes eram oriundos de uma única universidade pública, enquanto os professores integram a rede de ensino do estado de Minas Gerais. No entanto, a diferença no tamanho das amostras não compromete a validade da análise, pois métodos estatísticos utilizados para comparação são adequados

à estrutura dos dados, considerando amostras desbalanceadas, como o teste exato de Fisher e teste de Mann-Whitney. Além disso, análises de intervalo de confiança foram realizadas para indicar a confiabilidade das estimativas.

A Figura 2 apresenta a comparação gráfica das notas obtidas no ICM por licenciandos e professores. Observa-se a mediana e a distribuição das notas dos licenciandos deslocadas para valores superiores comparadas às dos professores, sugerindo que a maioria dos licenciandos obteve notas superiores à maior parte dos professores. Apesar das diferenças observadas entre os grupos pesquisados, as medianas de ambos indicam um aproveitamento inferior a 30% do total possível de pontos, o que sugere um desempenho insatisfatório tanto para os professores em exercício quanto para os professores em formação.

Figura 2

Notas de desempenho de Licenciandos e Professores no ICM



Nota. Os diagramas de caixa sugerem um desempenho geral superior dos licenciandos (graduandos). O intervalo interquartil revela que as notas dos professores estão mais concentradas, enquanto as dos graduandos apresentam maior dispersão. Destaca-se ainda a presença de valores atípicos no grupo dos professores, com algumas notas mais altas classificadas como *outliers* em relação ao restante do grupo. As demais pontuações desse grupo se concentraram em níveis mais baixos.

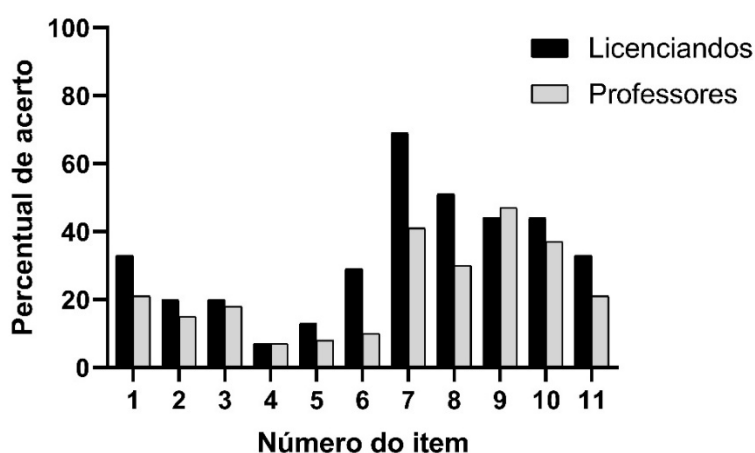
A Figura 3 mostra o percentual de acertos de licenciandos e professores nos itens 1 a 11 do IC de Meiose, os quais ambos os grupos foram submetidos. Nos itens 6, 7 e 8, os licenciandos apresentaram um desempenho superior ao dos professores, com diferenças significativas segundo o teste de Fisher; nos demais itens, não foram observadas diferenças ao nível de 5%.

A razão do desempenho insatisfatório dos respondentes é multifatorial e demonstra que o impacto de CA sobre o entendimento de conceitos genéticos é um fator importante para ajudar a explicar os resultados obtidos no ICM. As CA influenciam as respostas de graduandos e professores, independentemente do seu nível de experiência.

O desempenho superior dos licenciandos em alguns itens pode estar relacionado a um conhecimento teórico mais recente e atualizado, refletindo a proximidade com o conteúdo acadêmico de estudos e disciplinas relacionadas à Genética. Ademais, a Genética pode não fazer parte das atividades regulares de ensino e pesquisa de alguns professores em exercício. Os licenciandos estão em processo formativo e engajados na aquisição do conhecimento teórico, enquanto o outro grupo se encontra em um processo de experiência prática, e aproximações com conteúdo teórico e atualizações didático-pedagógicas se fazem necessárias (Marques et al., 2017).

Figura 3

Percentual de Acerto entre Graduandos e Professores em cada item do ICM



Contudo, apesar da diferença de desempenho observada, nota-se que a meiose é um tópico desafiador tanto para professores em formação quanto para aqueles em exercício. Essa dificuldade pode estar relacionada à complexidade intrínseca do tema, que exige compreensão de processos moleculares e microscópicos dinâmicos e envolve conceitos frequentemente confundidos, como cromossomos homólogos e cromátides-irmãs, células haploides e diploides etc. Além disso, falhas na formação inicial, falta de atualização profissional e metodologias de ensino pouco eficazes podem contribuir para essa dificuldade.

Concepções Alternativas Comuns (CAC)

A Tabela 2 mostra os itens classificados na categoria III, nos quais constatou-se preferência por distratores específicos, as CAC (vide Percurso Metodológico), que interessam especialmente por apontar concepções que não auxiliam no entendimento do processo de meiose. Os itens do IC de Meiose estão nomeados neste trabalho da seguinte forma: 1 a 11 são os itens que foram aplicados para professores em exercício e, anteriormente, para licenciandos (Sousa et al., 2023). Já os itens nomeados de A a D são aqueles aplicados apenas para os professores deste estudo.

Na Tabela 2, consta a análise comparativa entre a proporção de seleção da alternativa correta e o distrator preferencialmente selecionado pelos professores, segundo o teste de Qui-quadrado. Em todos os itens da categoria III, exceto no item 7 ($p = 0,63$) e no item C ($p = 0,30$), os professores mostraram uma tendência significativa de escolha pelos distratores em detrimento das alternativas corretas ($p < 0,001$). Os distratores preferencialmente selecionados serão nomeados como CAC.

Os outros itens do ICM que não constam na Tabela 2 são aqueles em que não foram detectadas CAC, especificamente da categoria II, em que nenhum distrator foi preferencialmente selecionado. Não houve itens classificados na categoria I (>80% de acerto), o que indica que os conceitos abordados no ICM são desafiadores para os professores pesquisados.

Tabela 2

Comparação entre a Alternativa Correta e o Distrator Preferencial para Professores

Pergunta	Acerto	Distrator	Qui-quadrado p
Item 1	21,5% (68)	69,4% (220)	< 0,001
Item 2	15,1% (48)	65,9% (209)	< 0,001
Item 3	17,9% (57)	57,7% (183)	< 0,001
Item 5	7,6% (24)	35,3% (112)	< 0,001
Item 7	41,5% (131)	43,9% (139)	0,63
Item 11	21,6% (67)	49,7% (154)	< 0,001
Item A	20% (63)	64,4% (203)	< 0,001
Item C	40,8% (125)	35,6% (109)	0,30
Item D	13,4% (42)	30,4% (95)	< 0,001

Nas Figuras 4 a 9 serão detalhados itens representativos das principais CAC identificadas sobre os seguintes conceitos: ploidia celular; representação pictórica dos cromossomos e replicação do DNA; relação entre cromossomos e a molécula de DNA; gametogênese e segregação cromossômica; mudanças na quantidade de DNA no ciclo celular; e cronologia de eventos na meiose. Na descrição dos itens, algumas alternativas ou combinações assinaladas pelos docentes não foram incluídas, pois não representam um percentual significativo de escolha.

Sobre a categoria conceitual *Ploidia*, licenciandos e professores demonstram dificuldade em conceituar o termo, habilidade avaliada no **item 1**⁴, de ordem cognitiva inferior da Taxonomia de Bloom, que requer a capacidade de relembrar o conhecimento avaliado. Os docentes obtiveram um aproveitamento de 21,5% e os licenciandos de 33% ($p < 0,001$). Ambos os grupos compartilham a concepção de que o número absoluto de cromossomos determina a ploidia de uma célula ou organismo, especificamente, 68,8% dos professores. Essa CA também foi compartilhada entre 31% dos 193 graduandos submetidos ao ICM no país de origem (Kalas et al., 2013). Nesse raciocínio, células haploides teriam sempre menos cromossomos do que células diploides, independentemente da espécie considerada.

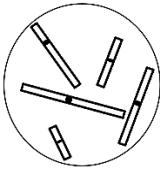
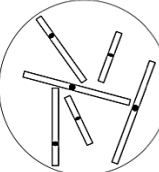
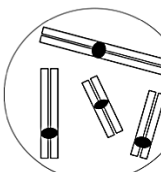
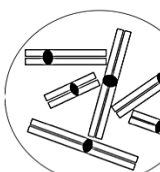
4 Para mais informações, consultar: <https://doi.org/10.5281/zenodo.17651626>.

A dificuldade em conceituar ploidia celular se estende para habilidades cognitivas mais complexas, como a de empregar o conhecimento interpretando novas situações, no caso do item 2 (Figura 4), em diagramas (Nível de Bloom III — aplicação).

Observa-se que 65,9% dos docentes entendem que células haploides não podem ter cromossomos compostos por cromátides-irmãs. Kalas et al. (2013), no processo de elaboração do ICM, identificaram a mesma concepção entre 23% dos graduandos (n=193).

Figura 4

Informações sobre o Item 2

Resumo do item 2 – formato RM	
Conceito avaliado: ploidia celular.	
Nível de Bloom: III	
[selecione todas as alternativas que se aplicam] Uma ou mais das células representadas abaixo são haploides. Marque qual(is) é/são essa(s) célula(s).	%
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">a) </div> <div style="text-align: center;">b) </div> <div style="text-align: center;">c) </div> <div style="text-align: center;">d) </div> </div>	
A + B	65,9
A + C	15,1
Outras alternativas ou combinações	19,0

Nota. A combinação de alternativas corretas está evidenciada pela cor verde e a CAC pela cor vermelha. Na segunda coluna, está o percentual de professores que optaram por cada combinação de alternativas. RM: item de resposta múltipla.

Outra interpretação possível é que pode haver confusão entre os conceitos de cromátides-irmãs e cromossomos homólogos. Dessa forma, caso existam cromátides-irmãs, os sujeitos testados podem conceber a célula como diploide. Sugere-se que as diferentes representações de cromossomos presentes na literatura e nos livros didáticos contribuam para o surgimento dessa concepção (Newman et al., 2020). O uso inadequado da linguagem, como o emprego de imagens na representação de estruturas e fenômenos abstratos, pode distorcer o conhecimento científico e criar obstáculos à aprendizagem (Bachelard, 1996). Isso pode ocasionar CA ou reforçá-las no ensino formal. Infante-Malachias (2010), por exemplo, relata a dificuldade apresentada por graduandos brasileiros de diferentes áreas da saúde e da Biologia para identificar cromátides-irmãs em diagramas.

A dificuldade em distinguir cromossomos homólogos de cromátides-irmãs pode originar-se de representações discutíveis, como aquelas que ilustram os cromossomos na forma de um “X” ou como duas barras verticais conectadas pelo centrômero, além da ausência de elucidações posteriores sobre as diferentes representações. Segundo

Newman et al. (2021), a competência representacional na Biologia — capacidade de interpretar corretamente e usar representações visuais específicas — é fundamental, pois a Biologia é uma área que abrange escalas desde o nível atômico ao ecossistêmico.

A confusão entre um conjunto genômico básico e duas cópias completas do genoma também foi evidenciada nos **itens 3 e A**⁵. No item 3, os participantes foram solicitados a identificar diagramas representativos de células diploides. Observou-se que 57,7% dos docentes selecionaram apenas representações de células com cromossomos duplicados, mesmo que algumas fossem haploides. Já no item A, pedia-se que os professores escolhessem a notação de ploidia mais adequada para descrever uma célula ilustrada em um diagrama. Embora a célula representada fosse triploide ($3n=6$), 64,4% dos respondentes indicaram a notação $2n=6$. Esses resultados reiteram a CA de que a ploidia está relacionada à estrutura dos cromossomos, e não à quantidade de conjuntos genômicos completos presentes. Em outras palavras, a presença de cromossomos duplicados tende a ser interpretada, erroneamente, como indicativo de diploidia. Essa CA também foi observada entre 71% dos licenciandos, refletindo a dificuldade em distinguir e generalizar os conceitos haploide e diploide desde a etapa de formação inicial até o exercício docente.

Kindfield (1994), em seu estudo realizado na Universidade da Califórnia, já sugeria que uma possível explicação para a associação incorreta entre ploidia celular e estrutura cromossômica reside no entendimento de que a ploidia da célula muda devido à replicação do DNA. Portanto, a síntese de DNA aumentaria o número de cromossomos e uma célula haploide passaria a ser diploide ou células diploides se tornariam tetraploides (Wright et al., 2017). Essa CA também foi identificada no **item 6**⁶ entre, aproximadamente, 23% dos docentes deste estudo e 40% dos estudantes do trabalho de Kalas et al. (2013), demonstrando que é um entendimento compartilhado por indivíduos de diferentes origens e níveis de formação, ressaltando a importância de enfatizar durante o ensino as distinções claras entre configurações cromossômicas, número de cromossomos e ploidia.

Outro fator que pode contribuir para essa CA é a ideia de que as cromátides-irmãs se formam quando cromossomos homólogos não duplicados de células haploides se unem, originando uma célula diploide, como no caso do zigoto (Kindfield, 1994; Wright & Newman, 2011). Wright et al. (2017) atribuem a essa CA uma explicação mais simples: a ideia de que o prefixo “di” sinaliza dois de algo e de que há duas cromátides visíveis — o que explica por que os estudantes descrevem uma célula pós-meiose I como diploide.

As mesmas CA sobre ploidia são observadas na literatura recente entre professores em formação brasileiros (Guerra et al., 2022) e alunos de Biologia de vários cursos de uma universidade dos Estados Unidos (Wright et al., 2017). Essas concepções persistem, em parte, devido à complexidade do conceito, que exige a conexão com outros termos

5 Para mais informações, consultar: <https://doi.org/10.5281/zenodo.17651626>.

6 Para mais informações, consultar: <https://doi.org/10.5281/zenodo.17651626>.

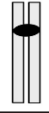
genéticos dentro de uma rede conceitual, como cromossomos homólogos, alelos, cromátides-irmãs, entre outros. Além disso, é possível que o conceito de ploidia não receba a devida ênfase nos cursos de formação, sendo tratado apenas de maneira superficial, uma vez que é abordado como um conteúdo básico no Ensino Médio. Dessa forma, muitos docentes acabam apenas revisitando o tema de forma simplificada nos cursos superiores (Guerra et al., 2022).

As CA consolidadas entre professores em exercício podem ser disseminadas entre estudantes e dificultar a compreensão da meiose e tópicos relacionados. Tal cenário evidencia a necessidade de repensar as estratégias de ensino empregadas, a fim de que esse conceito seja abordado de maneira mais eficaz, considerando que o conceito de ploidia precisa ser examinado e explicado nos níveis cromossômico e molecular do DNA, conferindo-lhe a ênfase e a atenção detalhada que exige.

Na categoria conceitual Relação entre DNA e Cromossomos, observa-se uma dificuldade de articulação entre os campos Genética e Biologia Molecular, tanto em licenciandos quanto em professores. Na Figura 5, relativa ao item 5, nota-se a dificuldade dos docentes em correlacionar a representação pictórica de um cromossomo duplicado com o processo de replicação do material genético. Apenas 7,6% dos docentes e 13,3% dos licenciandos conseguem identificar um cromossomo que já passou pela replicação do DNA, associando corretamente esse processo à presença das cromátides-irmãs.

Figura 5

Informações sobre o Item 5

Resumo do item 5 – formato RM		
Conhecimento avaliado: representação dos cromossomos, relação entre a estrutura dos cromossomos (cromátides irmãs ou não) e a replicação do DNA		
Nível de Bloom: II-III		
[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.		35,3
b) cromossomo que foi submetido à replicação do DNA.		5,4
c) cromossomo em seu estado diploide.		10,7
d) par de cromossomos homólogos.		19,5
A+B		7,6
Outras combinações de alternativas		21,5

Nota. a combinação de alternativas corretas está evidenciada pela cor verde e a CAC pela cor vermelha. Na segunda coluna, está o percentual de professores que optaram por cada combinação de alternativas. RM: item de resposta múltipla.

A CA observada no item 5 corrobora achados documentados na literatura entre estudantes. Guerra et al. (2020) observaram, em diagramas de meiose produzidos por licenciandos brasileiros, dificuldades em diferentes aspectos da replicação do material genético, as quais foram observadas também entre estudantes britânicos da educação básica em uma atividade de construção de modelos (Brown, 1990). As CA incluem representações de cromossomos não duplicados após a interfase e cromossomos com cromátides-irmãs diferentes, evidenciando a dificuldade em relacionar a estrutura cromossômica ao processo de replicação do DNA subjacente.


Wright et al. (2020) discutem o Modelo do Triângulo do DNA, o qual integra três escalas diferentes em que se pode considerar o DNA: nível cromossômico (C), molecular (M) e informacional (I). O nível C descreve a estrutura dos cromossomos, incluindo a contagem destes; é a escala na qual o DNA é visível no microscópio. O nível I descreve como o DNA codifica a informação genética, como regiões codificadoras de proteínas ou informações regulatórias. O nível M descreve a química e a sequência de nucleotídeos do DNA, crucial para as interações moleculares. Neste estudo, é perceptível a dificuldade dos docentes em articular as três escalas, se concentrando no nível C.

A duplicação do material genético é um processo molecular crucial para a compreensão de como o DNA é transmitido de uma geração para outra, sendo fundamental para a continuidade da espécie. Nesse sentido, é importante que os docentes enfatizem a inseparabilidade entre os processos moleculares e estruturas celulares e incorporem em suas práticas um tratamento mais interdisciplinar nas disciplinas de Genética. Nessa área, a falta de associação entre os mecanismos moleculares subjacentes aos conceitos genéticos, como genes e expressão gênica, é observada, por exemplo, entre estudantes de Ciências Biológicas dos Estados Unidos (Newman et al., 2021).

O item 5 também avalia a compreensão da representação pictórica dos cromossomos. Novamente, observa-se que aproximadamente 20% dos docentes confundem as representações de cromátides-irmãs e de cromossomos homólogos. A CA identificada na interpretação do modelo bidimensional do item pode advir da dificuldade em se estabelecer um consenso sobre a conformação dos cromossomos: se possuem o formato de X (representação usual, abordada nos livros didáticos) ou se as cromátides-irmãs são dispostas paralelamente, ligadas pelo centrômero (representação menos usual) (Mendonça et al., 2022).

Na Figura 6, está representado o item 7 da categoria conceitual Relação entre a Quantidade de DNA e Número de Cromossomos. O item requer dos respondentes a habilidade de compreender uma das diferentes representações cromossômicas e reconhecer o material que compõe essas estruturas. Contudo, a dificuldade de articulação entre Genética e Biologia Molecular é corroborada. Os docentes (~44%) asseguram a concepção de que cada cromossomo duplicado é composto por uma molécula de DNA, portanto, cada cromátide representaria uma das fitas do DNA, as quais são complementares e representadas pelas barras anexadas. Entre os licenciandos, diferentemente, não foram detectadas dificuldades óbvias no mesmo item.

Figura 6*Informações sobre o Item 7*

Resumo do item 7 – formato RU		
Conhecimento avaliado: representação dos cromossomos e a relação entre cromossomos e DNA		
Nível de Bloom: II-III		
[selecione todas as alternativas que se aplicam] O objeto representado ao lado é composto por		%
a) quatro moléculas de DNA de fita simples.		<5%
b) uma molécula de DNA de fita dupla.		43,9
c) duas moléculas de DNA de fita dupla.		41,5
d) duas moléculas de DNA de fita simples.		10,1

Nota. A combinação de alternativas corretas está evidenciada pela cor verde e a CAC pela cor vermelha. Na segunda coluna, está o percentual de professores que optaram por cada combinação de alternativas. RU: item de resposta única.

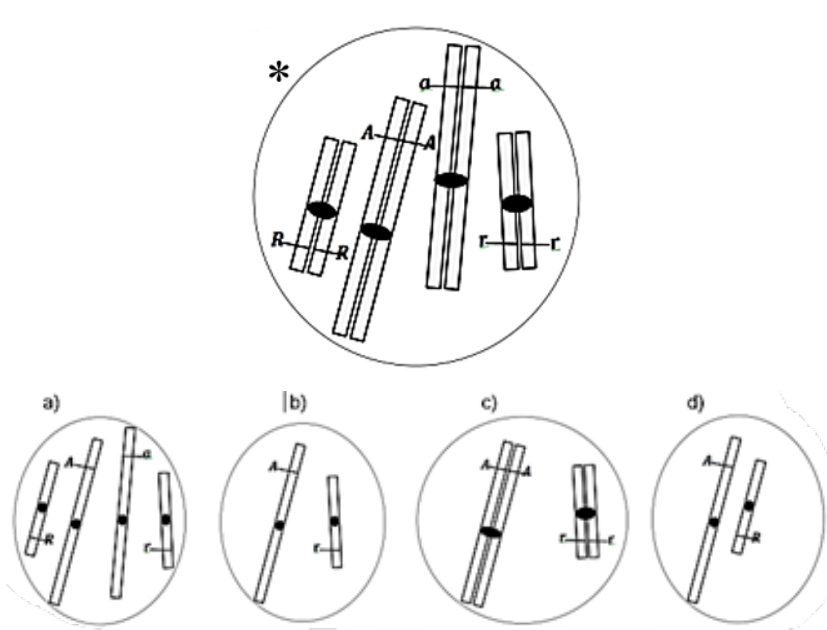
Essa CA sugere que os professores têm dificuldade em conectar e usar o conhecimento sobre DNA no nível cromossômico, molecular e informacional simultaneamente (Wright et al., 2020). É plausível que a construção conceitual com relação a esses aspectos na formação inicial tenha sido falha em algum nível. Ainda, é possível que os livros didáticos de Biologia do ensino básico, material de apoio fundamental para o professor, não enfatizem a relação entre conceitos que perpassam escalas biológicas distintas. Dessa forma, o processo de meiose é apresentado na escala cromossômica em detrimento da molecular, favorecendo a desarticulação entre os níveis.

O estudo de Saka et al. (2006) explora a compreensão de três conceitos genéticos fundamentais — gene, DNA e cromossomo — entre estudantes de diferentes faixas etárias e professores em formação nas áreas de Ciências e Biologia na Turquia. Segundo os autores, uma das fontes de CA na mente dos estudantes são as próprias CA dos professores. O estudo constatou que os licenciandos não estabeleceram relação entre os conceitos gene, cromossomos e DNA em diagramas solicitados aos participantes da pesquisa, demonstrando concepções simplificadas e imprecisas. Apenas 20% dos futuros professores de Biologia desenharam todos os conceitos corretamente, o que demonstra a dificuldade de conectar os conceitos genéticos abordados. Similarmente, estudantes do Ensino Médio de escolas públicas e privadas brasileiras demonstram que a correlação entre DNA e cromossomos é um desafio constante (Lima et al., 2007).

Metade dos professores deste estudo também demonstrou dificuldade em distinguir células resultantes da meiose, mantendo a noção de que, geneticamente, um gameta se parece com uma célula pós-mitótica. Essa concepção também foi observada entre os licenciandos na mesma proporção. O item 11, representado na Figura 7, compreende os níveis III (aplicação) e IV (análise) das habilidades cognitivas de Bloom, requerendo dos professores a habilidade de relacionar conceitos e eventos-chave da meiose, como segregação de homólogos e cromátides-irmãs, ploidia, estrutura dos cromossomos e disposição dos alelos gênicos, a fim de compreender os produtos finais da meiose por meio de diagramações.

Figura 7

Informações sobre o Item 11

Resumo do item 11 – formato RM	
Conhecimento avaliado: avaliar a compreensão sobre gametogênese e segregação de cromossomos	
Nível de Bloom: III-IV	
<p>[selecione todas as alternativas que se aplicam] A célula mãe (*) representada abaixo, sofre uma meiose I e uma meiose II normais e produz quatro células-filhas. Qual(is) dessas células poderia(m) ser?</p> 	%
A	49,7
C	10,6
B+D	21,6
Outras alternativas ou combinações	18,1

Nota. A combinação de alternativas corretas está evidenciada pela cor verde e a CAC pela cor vermelha. Na segunda coluna, está o percentual de professores que optaram por cada combinação de alternativas. RM: item de resposta múltipla.

Às vezes, os termos mitose e meiose geram confusão, pois são semelhantes e os dois processos se referem ao comportamento dos cromossomos e à citocinese. No item 11, observa-se a dificuldade em distinguir os desfechos de ambos os tipos de divisão celular. Embora muitos estudantes saibam como devem aparentar os produtos finais da meiose, cometem vários erros em seus modelos do processo como um todo (Guerra et al., 2022; Kindfield, 1994; Wright & Newman, 2011; Newman et al., 2012). Isso acontece porque não consideram a estrutura molecular e o comportamento do DNA durante a divisão celular, como o pareamento dos homólogos baseado na homologia ao nível de sequência de DNA, que permite que os cromossomos interajam e orienta a segregação precisa, garantindo a estabilidade cromossômica nas células filhas.

A ausência de uma abordagem mais profunda, em escala molecular e informacional, contribui para a falta de entendimento desse processo (Wright et al., 2017).

A dificuldade em distinguir os processos mitose e meiose é observada em outros itens, nos quais os docentes não demonstraram preferência por distratores específicos, como nos **itens 9 e 10**⁷. O item 9 aborda um processo típico da meiose, o crossing-over, ao solicitar que o respondente assinale o tipo de divisão celular representado em um diagrama de uma célula na anáfase II com cromátides-irmãs contendo alelos diferentes.

Cerca de 23% dos professores associaram a representação pictórica ao processo de mitose. No item 10, os professores foram solicitados a identificar o tipo de divisão celular representado em um diagrama contendo cromossomos homólogos alinhados na região equatorial da célula. Alguns docentes (23%) confundiram a representação com o processo de mitose, enquanto outros (~21%) se mostraram incertos quanto ao tipo de divisão celular. No estudo de Kalas et al. (2013), não foram identificadas CA específicas nos itens 10 e 11, enquanto neste estudo é nítida a dificuldade dos professores em reconhecer processos inerentes à meiose, sugerindo que muitos deles interpretam tais eventos como características comuns a qualquer divisão celular.

No item C, é avaliada a habilidade cognitiva de aplicar o conhecimento sobre as variações na quantidade de DNA em uma célula, relacionando-o à cronologia dos eventos da divisão celular, a fim de interpretar essas variações em cada estágio do processo (nível de Bloom III — aplicação). A principal CA identificada nesse item é o entendimento, presente entre 35,6% dos respondentes (Figura 8), de que a replicação do DNA ocorre durante a meiose, especificamente na prófase I. Essa mesma CA foi relatada no estudo de Kalas et al. (2013), entre 33% dos estudantes participantes da elaboração do ICM.

7 Para mais informações, consultar: <https://doi.org/10.5281/zenodo.17651626>.

Figura 8*Informações sobre o Item C*

Resumo do tem C – formato RU	
Conhecimento avaliado: mudanças na quantidade de DNA em uma célula no decorrer dos eventos na meiose	
Nível de Bloom: III	
[selecione a melhor alternativa] A quantidade de DNA em uma célula da pele de uma mulher antes da replicação do DNA é a mesma que a quantidade de DNA em	%
a) células germinativas na metáfase da meiose I.	9,8
b) células germinativas na prófase da meiose I.	35,6
c) células germinativas que completaram a meiose I, mas ainda não iniciaram a meiose II.	40,8
d) gametas maduros (células germinativas que completaram a meiose II).	13,7

Nota. A combinação de alternativas corretas está evidenciada pela cor verde e a CAC pela cor vermelha. Na segunda coluna, está o percentual de professores que optaram por cada combinação de alternativas. RU: item de resposta única.

O desconhecimento sobre a cronologia da replicação do DNA reflete uma falta de compreensão da interfase e da fase S integrante, incluindo o controle da replicação do DNA por meio de pontos de verificação, como o ponto crítico em que a célula só inicia o processo de divisão se o DNA replicado estiver íntegro.

Embora a interfase represente cerca de 90% do ciclo celular e a divisão celular represente a menor parte desse processo, é possível que os professores tenham uma visão simplista e generalista dessa fase do ciclo celular, definindo-a como uma etapa de preparação para a divisão celular ou de repouso após a divisão. A generalização excessiva encobre eventos importantes da interfase, como a replicação do DNA e outras atividades celulares e metabólicas (Karatas, 2021).

Processos moleculares são desafiadores, particularmente por não serem diretamente observáveis, e o DNA está no cerne dessas discussões. Nos diagramas de ciclo celular, os cromossomos são representados em um estado mais relaxado na interfase. Como os cromossomos individuais não são representados nessa etapa, a replicação do DNA é um processo que está oculto. O cromossomo duplicado se torna visível e é representado na prófase, o que pode ter influenciado na escolha do distrator preferencial pelos professores no item C (Figura 8).

Ainda na categoria conceitual Cronologia de Eventos da Meiose, outro conceito elementar para compreensão desse processo de divisão celular é o *crossing-over*, evento-chave para variabilidade genética. Contudo, nota-se um conhecimento incompleto sobre o comportamento dos cromossomos durante o processo, como demonstrado no item D (Figura 9), que buscou avaliar a habilidade cognitiva de recuperar informações,

i. e., lembrar (nível I de Bloom). Compreensões incompletas sobre o *crossing-over* influenciam negativamente o entendimento de tópicos relacionados, como ligação gênica, mapeamento genético, síndromes genéticas e evolução, por exemplo. Contudo, é um conceito desafiador inclusive entre graduandos de cursos distintos (Carvalho & Santiago, 2020).

Figura 9

Informações sobre o Item D

Resumo do item D – formato RM	
Conhecimento avaliado: cronologia de eventos no ciclo celular e na meiose	
Nível de Bloom: I	
[selecione todas as alternativas que se aplicam] Qual(is) dos seguintes eventos ocorre(m) durante a prófase da meiose I?	%
a) Crossing-over de cromossomos homólogos.	30,4
b) Alinhamento de cromossomos homólogos no centro da célula.	5,8
c) Pareamento de cromossomos homólogos.	12,8
d) Replicação da maior parte do DNA cromossômico (formação de cromátides irmãs).	15,7
A+C	13,4
Outras combinações de alternativas	21,9

Nota. a combinação de alternativas corretas está evidenciada pela cor verde e a CAC pela cor vermelha. Na segunda coluna, está o percentual de professores que optaram por cada combinação de alternativas. RM: item de resposta múltipla.

Aproximadamente 30% dos professores recordam-se que o *crossing-over* ocorre na prófase I, entretanto, apenas 13% associam esse evento ao pareamento de cromossomos homólogos. Essa concepção decorre do fato de os respondentes não considerarem que o alinhamento correto dos pares homólogos seja um pré-requisito para a recombinação. Esse processo é direcionado pela homologia de sequências e é fundamental, também, para a segregação precisa dos cromossomos (Wright et al., 2020).

Pensar os processos moleculares subjacentes auxiliaria os professores a compreender o comportamento dos cromossomos durante a divisão celular, pois o processo permanece implícito quando a ênfase é o resultado final, i.e., a representação de cromossomos paternos e maternos com partes trocadas e as designações “A” e “a” para os alelos (Wright et al., 2022). Com esse conhecimento, eles poderiam, por sua vez, orientar seus alunos a descobrir e aprender sobre esses processos não visíveis diretamente (Newman et al., 2021).

No **item 4**, assim como nos itens **6**, **8**, **10**, **11** e **B⁸**, não foram identificadas CA preferenciais, ou seja, a escolha dos distratores ocorreu de forma relativamente equilibrada do ponto de vista quantitativo. O item 4 avaliou os conceitos de ploidia, estrutura cromossômica, alelos e genótipos, solicitando que os docentes identificassem

8 Para mais informações, consultar: <https://doi.org/10.5281/zenodo.17651626>.

a representação correta de uma célula de planta diploide, contendo dois pares de cromossomos e genótipo AaBbDd. As principais dificuldades observadas concentraram-se na compreensão da estrutura dos cromossomos: aproximadamente 25% dos professores indicaram que a configuração mais adequada de um cromossomo seria sua forma duplicada; igualmente, em Kalas et al. (2013), 25% dos graduandos (n=193) entenderam que cromossomos reais ou normais apresentam cromátides-irmãs. No mesmo item, 23% dos docentes desta pesquisa interpretaram equivocadamente as cromátides-irmãs como dois cromossomos distintos. Destaca-se, ainda, que o item B⁹, que abordava a relação entre a molécula de DNA e os cromossomos, obteve o melhor desempenho entre os participantes, com um índice de acerto em torno de 57%. Já no item 8¹⁰, que tratava da identificação do número de cromossomos em diagramas, não foram constatadas CA específicas.

É evidente que as dificuldades de compreensão do processo de meiose não se restringem apenas a professores em exercício ou em formação, mas também são compartilhadas por estudantes de diferentes níveis de ensino, incluindo o básico.

Estudos anteriores conduzidos por nosso grupo identificaram a presença de CA entre calouros do curso de Ciências Biológicas — recém-egressos da educação básica — evidenciando que essas concepções se perpetuam entre indivíduos com graus distintos de escolaridade (Sousa et al., 2023). Isso sugere que tais concepções não são naturalmente superadas com a progressão nos níveis de ensino; pelo contrário, podem se consolidar ao longo da trajetória acadêmica. Esse fenômeno pode ser explicado por diversos fatores, como a complexidade inerente ao processo de meiose, a abordagem didática tradicionalmente utilizada e a dificuldade dos estudantes em estabelecer conexões entre os eventos celulares e moleculares.

Considerando que, conforme delineado por Silva e Sasseron (2021), a alfabetização científica se estrutura em três eixos interdependentes — a compreensão de conceitos científicos, o entendimento da natureza e das práticas científicas, e o reconhecimento das inter-relações entre ciência, tecnologia, sociedade e meio ambiente —, torna-se imprescindível superar as CA identificadas entre os docentes. A persistência dessas concepções no ensino não apenas compromete a aprendizagem conceitual dos estudantes, mas também interfere nos demais eixos da alfabetização, limitando o desenvolvimento de uma formação crítica, reflexiva e socialmente engajada. Ainda, o conhecimento do conteúdo pouco elaborado é um obstáculo para o conhecimento pedagógico — definido como o conhecimento sobre a compreensão dos estudantes e estratégias instrucionais que visam identificar e superar CA. O conhecimento orientado à ação, em outras palavras, a validação de informações, atividades de diagnóstico, métodos que tornem o conteúdo compreensível e a abordagem de dificuldades específicas de aprendizagem, dependem do conhecimento teórico (Fischer et al., 2021).

9 Para mais informações, consultar: <https://doi.org/10.5281/zenodo.17651626>.

10 Para mais informações, consultar: <https://doi.org/10.5281/zenodo.17651626>.

Conclusão

O principal objetivo deste estudo foi investigar a compreensão de conceitos relacionados ao processo de meiose entre professores da educação básica em exercício, dado que esse tema envolve conceitos centrais para o entendimento de diversos temas da Genética e da Biologia, como variabilidade genética, mutações cromossômicas, ciclo de vida dos seres vivos, reprodução sexuada, processos de especiação e outros.

Compreende-se que o conhecimento do conteúdo, aliado ao conhecimento pedagógico dos docentes, é um aspecto essencial para o desenvolvimento da alfabetização científica nessas áreas.

A pesquisa reforçou evidências de estudos anteriores sobre o ensino de Genética na educação básica e no ensino superior, mostrando que os professores mantêm CA semelhantes às observadas entre estudantes de diferentes níveis de ensino, conforme documentado na literatura, especialmente sobre ploidia, estrutura cromossômica, distinções entre mitose e meiose e as bases moleculares da divisão celular. Destaca-se, portanto, a necessidade de conscientizar tanto os professores em formação inicial quanto aqueles em exercício, bem como docentes universitários, sobre as CA que persistem após as etapas de ensino e a experiência profissional.

A realidade observada sugere que a experiência profissional, por si só, não é um fator determinante na compreensão de conceitos genéticos. Em vez disso, aspectos como a formação inicial, a participação em cursos de formação continuada e a adoção de metodologias de ensino alternativas podem desempenhar um papel significativo na construção do conhecimento sobre meiose.

Ademais, apesar de uma maioria considerável dos professores ter formação superior, isso não se traduz em um conhecimento sólido sobre genética. A correlação entre maior formação acadêmica e desempenho sugere a necessidade de fortalecer a formação inicial e continuada no âmbito da Genética, a fim de mitigar as dificuldades no entendimento de conceitos que afetam diretamente a prática pedagógica e a capacidade de compreensão de conteúdos correlatos.

Os resultados obtidos não somente revelam dificuldades na formação universitária de professores, mas indicam quais situações específicas precisam ser abordadas para transformar o conhecimento do conteúdo em ações e procedimentos.

Novas estratégias podem permitir que os professores entendam e confrontem suas próprias CA, evitando a propagação destas na educação básica. Professores conscientes das próprias concepções e familiarizados com as de seus alunos serão capazes de diagnosticar e lidar mais adequadamente com a questão. É evidente, portanto, a relevância de pesquisas futuras que concentrem esforços em investigar o conhecimento do conteúdo de professores, a fim de planejar ações de ensino a partir das necessidades formativas identificadas.

Por fim, recomenda-se o uso do Inventário Conceitual de Meiose por professores da educação básica e docentes universitários. O instrumento demonstrou ser uma ferramenta eficaz para avaliar o entendimento conceitual por parte de estudantes

e profissionais, identificando com precisão conceitos problemáticos descritos na literatura especializada sobre o processo de meiose. A detecção de CA impulsiona o desenvolvimento de metodologias inovadoras de ensino e a criação de materiais didáticos alinhados às necessidades conceituais. Além disso, o ICM pode ser utilizado para diversas finalidades, como fornecer feedback instantâneo durante o ensino, subsidiar reformas curriculares e avaliar a eficácia de estratégias pedagógicas alternativas.

Limitações da Pesquisa

Este é um estudo transversal com professores de diferentes faixas etárias, experiências profissionais e níveis de formação, de modo que não se pode presumir que os indivíduos sejam diretamente comparáveis. Além disso, no estudo comparativo entre licenciandos e professores em exercício, tais diferenças entre os grupos analisados se fazem ainda mais presentes.

Esta pesquisa se limita a um contexto específico. Embora Minas Gerais seja um estado representativo no cenário nacional, sendo o segundo mais populoso e o quarto em extensão territorial (IBGE, 2023), a amostra não reflete o conjunto total de professores do estado, pois a maioria dos participantes é de escolas públicas, uma vez que não houve o retorno esperado dos professores da rede particular, contatados a partir do sindicato. A generalização dos resultados deste estudo para o contexto local, bem como para professores de outras unidades da federação e de outros países, depende de uma pesquisa mais abrangente. No entanto, em nossas investigações, não encontramos estudos que investigassem concepções docentes sobre conceitos genéticos associados ao processo de meiose, o que reforça a relevância deste trabalho, que traz contribuições importantes para a pesquisa em Ensino de Genética e que podem ser extrapoladas para outros contextos.

No que se refere ao Inventário Conceitual de Meiose, embora esse instrumento tenha passado por um processo de validação em termos de confiabilidade e conteúdo, reconhece-se a necessidade de validação específica da etapa de tradução, com o intuito de assegurar a equivalência semântica em relação à língua portuguesa falada no Brasil, bem como garantir a precisão do teste.

Perspectivas

As próximas etapas deste estudo incluem a investigação do raciocínio adotado pelos professores na resolução dos itens do ICM, por meio de entrevistas cognitivas. Além disso, serão realizadas entrevistas semiestruturadas, com o intuito de compreender as principais dificuldades enfrentadas no ensino da meiose. A pesquisa também envolverá uma análise qualitativa das verbalizações dos participantes e observações em ambiente escolar, visando explorar o conhecimento pedagógico dos professores no contexto do ensino de genética.

Agradecimentos

Agradecemos ao CNPq pelo financiamento do projeto que nos permitiu a escrita deste artigo.

Referências

- Adams, W. K., & Wieman, C. E. (2011). Development and validation of instruments to measure learning of expert-like thinking. *International Journal of Science Education*, 33(9), 1289–1312. <https://doi.org/10.1080/09500693.2010.512369>
- Agresti, A. (2018). *An introduction to categorical data analysis* (3rd ed.). Wiley.
- Anderson, L. W., Krathwohl, D. R., & Bloom, B. S. (2001). A taxonomy for learning, teaching, and assessing: A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives. Addison Wesley Longman.
- Brown, C. R. (1990). Some misconceptions in meiosis shown by students responding to an advanced level practical examination question in biology. *Journal of Biological Education*, 24(3), 182–186. <https://doi.org/10.1080/00219266.1990.9655138>
- Bloom, B. S., Engelhart, M. D., Furst, E. J., Hill, W. H., & Krathwohl, D. R. (1956). The classification of educational goals: Taxonomy of educational objectives (Vol. 1). David McKay.
- Carvalho, H. F., & Santiago, S. A. (2020). A fragilidade do ensino da meiose. *Ciência & Educação (Bauru)*, 26, 1–15. <https://doi.org/10.1590/1516-731320200025>
- Carvalho, Í. N. de, El-Hani, C. N., & Nunes-Neto, N. (2020). How should we select conceptual content for biology high school curricula? *Science and Education*, 29(3), 513–547. <https://doi.org/10.1007/s11191-020-00115-9>
- Chassot, A. (2003). Alfabetização científica: uma possibilidade para a inclusão social. *Revista Brasileira de Educação*, (22), 89–100. <https://doi.org/10.1590/S1413-24782003000100009>
- Cullinane, A., & Liston, M. (2016). Review of the Leaving Certificate biology examination papers (1999–2008) using Bloom's taxonomy: An investigation of the cognitive demands of the examination. *Irish Educational Studies*, 35(3), 249–267. <https://doi.org/10.1080/03323315.2016.1192480>
- Dove, J. E. (1998). Students' alternative conceptions in Earth science: A review of research and implications for teaching and learning. *Research Papers in Education*, 13(2), 183–201. <https://doi.org/10.1080/0267152980130205>
- Filho, R. dos S., Alle, L. F., Cestari, M. M., & Leme, D. M. (2021). Avaliação de um curso de formação continuada como método de capacitação de professores do ensino médio em genética. *Revista de Educação Ciência e Tecnologia*, 10(1), 1–24. <https://doi.org/10.35819/tear.v10.n1.a5068>

- Gil, S. G. R., Fradkin, M., & Castañeda-Sortibrán, A. N. (2018). Conceptions of meiosis: Misunderstandings among university students and errors. *Journal of Biological Education*, 53(2), 1–14. <https://doi.org/10.1080/00219266.2018.1469531>
- Guerra, L., Tavares, M., & Vilas-Boas, A. (2022). Persistência de concepções alternativas sobre meiose no ensino de genética entre licenciandos de Ciências Biológicas. *Dynamis*, 28(1), 1–19. <https://doi.org/10.7867/1982-4866.2022v28n1p107-126>
- Hartelt, T., Martens, H., & Minkley, N. (2022). Teachers' ability to diagnose and deal with alternative student conceptions of evolution. *Science Education*, 106(3), 706–738. <https://doi.org/10.1002/sce.21705>
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (2022). *Censo 2022: Panorama de indicadores*. <https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/indicadores.html?localidade=BR&tema=4>
- Joaquim, L. M., & El-Hani, C. N. (2010). A genética em transformação: Crise e revisão do conceito de gene. *Scientiae Studia*, 8(1), 93–128. <https://doi.org/10.1590/s1678-31662010000100005>
- Kabacoff, R. (2015). *R in Action: Data analysis and graphics with R* (2ª ed.). Manning.
- Kalas, P., O'Neill, A., Pollock, C., & Birol, G. (2013). Development of a meiosis concept inventory. *CBE Life Sciences Education*, 12(4), 655–664. <https://doi.org/10.1187/cbe.12-10-0174>
- Karataş, A. (2023). A Phase Overshadowed by Mitotic Division: Interphase. *Journal of Biological Education*, 57(2), 317–330. <https://doi.org/10.1080/00219266.2021.1909637>
- Kindfield, A. C. H. (1994). Understanding a basic biological process: Expert and novice models of meiosis. *Science Education*, 78(3), 255–283. <https://doi.org/10.1002/sce.3730780308>
- Lima, A. C., Pinton, M. R. G. M., & Chaves, A. C. L. (26 de novembro a 2 de dezembro, 2007). *O entendimento e a imagem de três conceitos: DNA, gene e cromossomo no ensino médio*. VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPEC), Florianópolis, Santa Catarina.
- Marques, K. C. D., Persich, G. D. O., & Neto, L. C. B. T. (3–6 de julho, 2017). *Formação continuada para professores de Biologia: Curso a distância sobre ensino de genética*. XI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação de Ciências (ENPEC), Florianópolis, Santa Catarina.
- Secretaria de Estado de Educação de Minas Gerais. (n.d.). *Superintendências Regionais de Ensino (SREs)*. <https://www.educacao.mg.gov.br/a-secretaria/superintendencias-regionais-de-ensino-sres/>

- Mortimer, E. F. (1996). Construtivismo, Mudança Conceitual e Ensino De Ciências: Para Onde Vamos?. *Investigações Em Ensino De Ciências*, 1(1), 20–39. <https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/view/645>
- Mortimer, E. F., Chagas, A. N., & Alvarenga, V. T. (1998). Linguagem Científica Versus Linguagem Comum nas Respostas Escritas De Vestibulandos. *Investigações em Ensino de Ciências*, 3(1), 7–19. <https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/view/622>
- Newman, D. L., Coakley, A., Link, A., Mills, K., & Wright, L. K. (2021). Punnett squares or protein production? The expert–novice divide for conceptions of genes and gene expression. *CBE Life Sciences Education*, 20(4), 1–10. <https://doi.org/10.1187/CBE.21-01-0004>
- R Foundation for Statistical Computing. (n.d.). *R: A linguagem de programação e ambiente para computação estatística*. <https://www.r-project.org/>
- Saka, A., Cerrah, L., Akdeniz, A. R., & Ayas, A. (2006). A cross-age study of the understanding of three genetic concepts: How do they image the gene, DNA, and chromosome? *Journal of Science Education and Technology*, 15(2), 192–202. <https://doi.org/10.1007/s10956-006-9006-6>
- Sasseron, L. H., & de Carvalho, A. M. P. (2011). Alfabetização Científica: Uma Revisão Bibliográfica. *Investigações em Ensino de Ciências*, 16(1), 59–77. <https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/view/246>
- Secretaria de Estado de Educação de Minas Gerais. (n.d.). *Plano de cursos CRMG*. <https://curriculoreferencia.educacao.mg.gov.br/index.php/plano-de-cursos-crmg>
- Silva, M. B. e., & Sasseron, L. H. (2021). Alfabetização científica e domínios do conhecimento científico: Proposições para uma perspectiva formativa comprometida com a transformação social. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências*, 23, 1–20. <https://doi.org/10.1590/1983-21172021230129>
- Smith, M. K., & Knight, J. K. (2012). Using the Genetics Concept Assessment to document persistent conceptual difficulties in undergraduate genetics courses. *Genetics*, 191(1), 21–32. <https://doi.org/10.1534/genetics.111.137810>
- Sousa, L. E., Tavares, M. L., & Vilas-Boas, A. (2023). The use of a meiosis concept inventory to identify alternative conceptions among Biological Science first-year students and prospective teachers. *Ciência & Educação (Bauru)*, 29, 1–18. <https://doi.org/10.1590/1516-731320230049>
- Sousa, L., Tavares, M., & Vilas-Boas, A. (2025). *Inventário Conceitual de Meiose*. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.17651626>
- Valladares, L. (2021). Scientific literacy and social transformation: Critical perspectives about science participation and emancipation. *Science and Education*, 30(3), 557–587. <https://doi.org/10.1007/s11191-021-00205-2>

- Weaver, K. F., Morales, V. C., Dunn, S. L., Godde, K., & Weaver, P. F. (2017). *An introduction to statistical analysis in research: With applications in the biological and life sciences*. Wiley.
- Wright, L. K., Catavero, C. M., & Newman, D. L. (2017). The DNA triangle and its application to learning meiosis. *CBE Life Sciences Education*, 16(3), 1–14. <https://doi.org/10.1187/cbe.17-03-0046>
- Wright, L. K., Grace, G. E., & Newman, D. L. (2020). Undergraduate textbook representations of meiosis neglect essential elements. *American Biology Teacher*, 82(5), 296–305. <https://doi.org/10.1525/abt.2020.82.5.296>
- Wright, L. K., & Newman, D. L. (2011). An interactive modeling lesson increases students' understanding of ploidy during meiosis. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 39(5), 344–351. <https://doi.org/10.1002/bmb.20523>
- Wright, L. K., Wrightstone, E., Trumpore, L., Steele, J., Abid, D. M., & Newman, D. L. (2022). The DNA Landscape: Development and Application of a New Framework for Visual Communication about DNA. *CBE Life Sciences Education*, 21(3), 1–8. <https://doi.org/10.1187/cbe.22-01-0007>



Lorrayne Evangelista de Sousa

Universidade Federal de Minas Gerais
Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil
lorrayne-biologia@ufmg.br



Marina de Lima Tavares

Universidade Federal de Minas Gerais
Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil
marina-tavares@ufmg.br



Adlane Vilas-Boas

Universidade Federal de Minas Gerais
Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil
adlane@ufmg.br



Editora Responsável: Aline Andréia Nicolli

Revisado por: Ana Cristina Vieira Lopes Romeiro

Periódico financiado pela Associação Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências — ABRAPEC



Manifestação de Atenção às Boas Práticas Científicas e Isenção de Interesse e de Responsabilidade

Os autores declaram ser responsáveis pelo zelo aos procedimentos éticos previstos em lei, não haver qualquer interesse concorrente ou pessoais que possam influenciar o trabalho relatado no texto e assumem a responsabilidade pelo conteúdo e originalidade integral ou parcial.

Copyright (c) 2025 Lorrayne Evangelista de Sousa, Marina de Lima Tavares, Adlane Vilas-Boas



Este texto é licenciado pela **Creative Commons CC BY 4.0 License**

Você tem o direito de Compartilhar (copiar e redistribuir o material em qualquer suporte ou formato para qualquer fim, mesmo que comercial) e Adaptar (remixar, transformar, e criar a partir do material para qualquer fim, mesmo que comercial). De acordo com os termos seguintes:

Atribuição: Você deve dar o crédito apropriado, prover um link para a licença e indicar se mudanças foram feitas. Você deve fazê-lo em qualquer circunstância razoável, mas de nenhuma maneira que sugira que o licenciante apoia você ou o seu uso.

Sem restrições adicionais: Você não pode aplicar termos jurídicos ou medidas de caráter tecnológico que restrinjam legalmente outros de fazerem algo que a licença permita.
