

Estado da publicação: O preprint não foi publicado em outro meio.

Aprendizagem de Genética no Ensino Superior em Contexto Remoto: Lacunas Conceituais, Perfis Afetivo-Metacognitivos e Barreiras Contextuais

Elaini Oliveira dos Santos Alves

<https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.16450>

Submetido em: 2026-06-09

Postado em: 2026-07-27 (versão 1)

(AAAA-MM-DD)

Aprendizagem de Genética no Ensino Superior em Contexto Remoto: Lacunas Conceituais, Perfis Afetivo-Metacognitivos e Barreiras Contextuais

Learning Genetics in Higher Education in Remote Context: Conceptual Gaps, Affective-Metacognitive Profiles, and Contextual Barriers

Aprendizaje de Genética en Educación Superior en Contexto Remoto: Vacíos Conceptuales, Perfiles Afectivo-Metacognitivos y Barreras Contextuales

Resumo

A aprendizagem de Genética no ensino superior apresenta historicamente altos índices de equívocos conceituais persistentes, cenário agravado pela transição abrupta para o ensino remoto emergencial durante a pandemia de Covid-19. Este estudo investigou lacunas conceituais, perfis afetivo-metacognitivos e barreiras pedagógicas vivenciadas por 24 licenciandos em Ciências Biológicas de uma universidade pública do Nordeste brasileiro ao longo de uma sequência didática de oito semanas realizada integralmente em ensino remoto emergencial (semestre 2020.2). Foram utilizados diários de bordo reflexivos semanais, analisados por análise de conteúdo temática, e um questionário conceitual com cinco questões abertas, submetido a análise de conteúdo e estatística descritiva por item. A integração das fontes ocorreu por meio de *joint displays*. Os resultados revelam que conceitos como *gene*, *alelo* e *meiose* foram compreendidos por parcela significativa da turma, enquanto herança intergeracional, produção de gametas e probabilidade genética evidenciaram equívocos estruturais recorrentes, especialmente confusão entre crossing-over e herança mendeliana. Os diários permitiram identificar três perfis afetivo-metacognitivos distintos: engajamento autônomo, ansiedade ativadora e desconexão tecnológica. Um achado contraintuitivo emergiu da triangulação: estudantes de maior desempenho conceitual foram simultaneamente os de maior frequência de registros afetivos negativos, sugerindo que a ansiedade, quando acompanhada de estratégias ativas de monitoramento, pode operar como componente do engajamento cognitivo profundo. Aulas gravadas, experimento remoto com moscas e seminários temáticos foram as estratégias mais valorizadas. Os resultados oferecem subsídios para o desenho de sequências didáticas que integrem suporte metacognitivo e mediação emocional em contextos de ensino remoto e híbrido.

Palavras-chave: aprendizagem ativa; ensino de Genética; ensino remoto emergencial; métodos mistos; formação docente.

Abstract

Genetics learning in higher education has historically been marked by persistent conceptual misconceptions, a scenario worsened by the abrupt transition to emergency remote teaching during the COVID-19 pandemic. This study investigated conceptual gaps, affective-metacognitive profiles, and pedagogical barriers experienced by 24 pre-service Biology teachers from a public university in Northeastern Brazil throughout an eight-week instructional sequence conducted entirely in emergency remote teaching (2020.2 semester). Data were collected through weekly reflective learning journals, analyzed via thematic content analysis, and a conceptual questionnaire with five open-ended items, subjected to content analysis and

descriptive statistics per item. Data integration was performed using joint displays. Results reveal that concepts such as *gene*, *allele*, and *meiosis* were correctly understood by a significant portion of the class, whereas intergenerational inheritance, gamete production, and genetic probability evidenced recurrent structural misconceptions, particularly confusion between crossing-over and Mendelian inheritance. The journals enabled the identification of three distinct affective-metacognitive profiles: autonomous engagement, activating anxiety, and technological disconnection. A counterintuitive finding emerged from triangulation: students with the highest conceptual performance were simultaneously those with the highest frequency of negative affective records, suggesting that anxiety, when accompanied by active monitoring strategies, may function as a component of deep cognitive engagement. Recorded classes, a remote experiment with flies, and thematic seminars were the most valued instructional strategies. The findings provide evidence for the design of instructional sequences that explicitly integrate metacognitive support and emotional mediation in remote and hybrid teaching contexts.

Keywords: active learning; Genetics education; emergency remote teaching; mixed methods; teacher education.

Resumen

El aprendizaje de la Genética en la educación superior ha presentado históricamente altos índices de errores conceptuales persistentes, situación agravada por la transición abrupta a la enseñanza remota de emergencia durante la pandemia de Covid-19. Este estudio investigó las lagunas conceptuales, los perfiles afectivo-metacognitivos y las barreras pedagógicas experimentadas por 24 estudiantes de Licenciatura en Ciencias Biológicas de una universidad pública del Noreste de Brasil a lo largo de una secuencia didáctica de ocho semanas realizada íntegramente en enseñanza remota de emergencia (semestre 2020.2). Se utilizaron diarios de aprendizaje reflexivos semanales, analizados mediante análisis de contenido temático, y un cuestionario conceptual con cinco preguntas abiertas, sometido a análisis de contenido y estadística descriptiva por ítem. La integración de los datos se realizó mediante *joint displays*. Los resultados revelan que conceptos como *gen*, *alelo* y *meiosis* fueron comprendidos por una parte significativa del grupo, mientras que la herencia intergeneracional, la producción de gametos y la probabilidad genética evidenciaron errores conceptuales estructurales recurrentes, en especial, confusión entre el entrecruzamiento y la herencia mendeliana. Los diarios permitieron identificar tres perfiles afectivo-metacognitivos distintos: compromiso autónomo, ansiedad activadora y desconexión tecnológica. Un hallazgo contraintuitivo emergió de la triangulación: los estudiantes con mayor desempeño conceptual fueron simultáneamente quienes registraron mayor frecuencia de expresiones afectivas negativas, lo que sugiere que la ansiedad, cuando se acompaña de estrategias activas de monitoreo, puede operar como componente del compromiso cognitivo profundo. Las clases grabadas, el experimento remoto con moscas y los seminarios temáticos fueron las estrategias más valoradas. Los resultados ofrecen evidencias para el diseño de secuencias didácticas que integren explícitamente apoyo metacognitivo y mediación emocional en contextos de enseñanza remota e híbrida.

Palabras clave: aprendizaje activo; enseñanza de la Genética; enseñanza remota de emergencia; métodos mixtos; formación docente.

Introdução

A literacia genética tornou-se competência-chave para profissionais tanto de Ciências Biológicas como da Saúde, e cidadãos em geral, uma vez que decisões relacionadas a saúde pública, bioética e inovação biotecnológica (p. ex., vacinas de RNA e testes de paternidade) exigem compreensão dos mecanismos de herança e variação. No entanto, componentes curriculares centrados em genética apresentam altos índices de dificuldade conceitual e equívocos persistentes entre estudantes de graduação, com dificuldades documentadas em conceitos clássicos, como padrões de herança Mendeliana (Borja & Mutya, 2024), e processos moleculares, como replicação de DNA (Choirunisa, Susanto & Zubaidah, 2024).

No contexto brasileiro, Fabrício et al. (2006) documentaram que dificuldades com as Leis de Mendel são recorrentes tanto na educação básica quanto em cursos de Licenciatura em Ciências Biológicas, sugerindo que esses obstáculos conceituais não são superados espontaneamente pela progressão escolar. Essas dificuldades também foram relatadas em cursos de formação em saúde, nos quais avanços tecnológicos em genômica têm demandado reformas pedagógicas orientadas para o pensamento crítico e a aprendizagem experiencial (Wolyniak, Bemis & Prunuske, 2015). Tais dificuldades tendem a ser exacerbadas em contexto de ensino remoto, nos quais a ausência de interações síncronas, a limitação de recursos concretos e o isolamento acadêmico podem amplificar barreiras conceituais já consolidadas no ensino presencial.

Oliveira et al. (2021), em estudo exploratório com 20 estudantes e 10 professores do ensino superior, investigaram como a aprendizagem foi mediada por tecnologia nos primeiros estágios da pandemia de Covid-19. Embora o estudo tenha identificado potencial positivo da tecnologia, também revelou que professores careciam de treinamento adequado para ambientes remotos, especialmente em disciplinas que exigem mediação pedagógica complexa.

Do ponto de vista discente, parte dos estudantes demonstraram relativa adaptabilidade ao novo formato, porém foram relatadas dificuldades de concentração, redução da interação com docentes e aumento da carga percebida de estudos (Rubtsova et al., 2023). Esse cenário potencializa os desafios inerentes a disciplinas conceitualmente densas como a Genética, nas quais a construção do conhecimento depende fortemente de mediação pedagógica qualificada, de estratégias ativas de aprendizagem e de feedback contínuo.

Uma meta-análise robusta conduzida por Freeman et al. (2014) com 225 estudos em disciplinas CTEM (Ciências, Tecnologia, Engenharia e Matemática), demonstrou que estratégias de aprendizagem ativa elevam o desempenho discente e reduzem taxas de reprovação em comparação à aula expositiva tradicional. No contexto específico do ensino superior de Genética, Smith e Wood (2016) documentaram a transição gradual de cursos centrados em herança mendeliana para abordagens mais amplas e ativas, recomendando maior ênfase na prática científica e em novas formas de avaliação da aprendizagem. Contudo, os estudos analisados restringiram-se a contextos presenciais, deixando em aberto questões sobre a efetividade dessas abordagens em ambientes híbridos ou totalmente online, especialmente quando se consideram fatores afetivo-metacognitivos e barreiras contextuais como as tecnológicas, linguísticas e infraestruturais.

Adicionalmente, Pereira, Cunha & Lima (2020) testaram um conjunto de estratégias didático-pedagógicas em aulas presenciais de ensino médio, incluindo aulas expositiva-dialogada, práticas, experimentais, jogos didáticos e recursos audiovisuais, encontrando melhoras significativas no desempenho de alunos em tópicos como Sistema ABO e Síndromes Cromossômicas. Contudo, permanecem em aberto questões sobre como essas estratégias se comportam em ambientes remotos e em contextos de ensino superior.

Embora estudos recentes tenham investigado percepções de licenciandos em Ciências Biológicas sobre a disciplina de Genética no ensino remoto (Santos, Castro & Castro, 2021) e

comparado desempenho conceitual entre ensino remoto emergencial (ERE) e ensino presencial em contextos internacionais (Kawasaki et al., 2021), há uma lacuna relevante: não foram identificados estudos que integrem, em um único desenho misto, as dimensões cognitiva (equívocos conceituais específicos), afetivo-metacognitiva (perfis de autorregulação e emoções de realização) e contextual (barreiras tecnológicas, linguísticas e infraestruturais) da aprendizagem de Genética no ERE. Os estudos sobre barreiras no ERE em disciplinas STEM tendem a focar na perspectiva docente (Donham et al., 2022) ou a investigar experiências afetivas gerais sem articulá-las ao desempenho conceitual (Oliveira et al., 2021).

Diante desse panorama, este estudo propõe-se a investigar, por meio de um desenho misto exploratório-descritivo, três dimensões complementares da experiência de aprendizagem em Genética de estudantes de Licenciatura em Ciências Biológicas durante uma sequência didática de oito semanas letivas realizada integralmente em ERE: (1) lacunas conceituais e equívocos persistentes; (2) perfis afetivo-metacognitivos e padrões de autorregulação; (3) barreiras pedagógicas e efetividade de estratégias de ensino.

Ao articular dimensões cognitivas, afetivas e contextuais, espera-se oferecer evidências que auxiliem docentes e formadores na elaboração de práticas teoricamente fundamentadas para o ensino de Genética em contextos presenciais, remotos e híbridos, contribuindo especialmente para o desenho de práticas pós-pandemia.

Abordagem e desenho metodológico

Este estudo adota uma abordagem qualitativa-dominante com componente quantitativo, de natureza exploratória e descritiva. Dois conjuntos independentes de evidências foram produzidos: (i) relatos reflexivos nos diários de bordo, analisados por análise de conteúdo temática (Bardin, 2016); e (ii) respostas a um questionário conceitual aberto, examinadas qualitativa e quantitativamente. Na dimensão quantitativa, as respostas foram pontuadas e analisadas por meio de estatística descritiva, sem a aplicação de testes inferenciais, uma vez que o tamanho amostral e o delineamento sem grupo controle não sustentariam esse nível de análise. A integração dos achados ocorreu por meio de tabelas e matrizes (*joint displays*), favorecendo triangulação e explicação mútua entre as dimensões qualitativa e quantitativa.

Contexto e participantes

A pesquisa foi conduzida durante o semestre letivo remoto de 2020.2 no âmbito do componente curricular ‘Genética Geral’, ofertada a estudantes de Licenciatura em Ciências Biológicas na Universidade de Pernambuco (Campus Petrolina), localizada em Petrolina (PE). Participaram da investigação 24 estudantes, de forma voluntária e consentida, mediante assinatura de Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE). O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da instituição sob parecer n.º 4.375.136 (CAAE: 37001320.9.0000.5191).

Trinta estudantes foram convidados a submeter diários de bordo semanais e a responder ao questionário conceitual final. Dezesesseis estudantes (53,3%) aderiram voluntariamente à submissão de diários de bordo semanais, compondo o corpus principal para a análise qualitativa (N=132 registros); e todos os 24 estudantes responderam ao questionário conceitual final. Para a etapa de triangulação, foram considerados os registros dos estudantes que participaram de ambos os instrumentos, buscando-se identificar, de forma descritiva, padrões de correspondência entre regularidade de engajamento e desempenho conceitual.

As citações diretas dos diários de bordo são identificadas pelo código do participante (P1 a P16, em ordem alfabética do nome) e pela semana de registro (W37 a W45, conforme o calendário de 2020). As respostas ao questionário são identificadas pelo código do respondente

(R1 a R30) e pela questão correspondente (Q1 a Q5). Em ambos os instrumentos, optou-se pela anonimização completa dos participantes no corpo do texto conforme consta no TCLE.

A sequência didática foi desenvolvida ao longo de oito semanas letivas (setembro a novembro de 2020), estruturadas em torno de temas previstos na ementa do componente curricular. A Figura 1 apresenta o cronograma real das atividades que foram desenvolvidas.

Figura 1

Temas centrais e atividades principais da sequência didática utilizada nas aulas das oito semanas letivas

Semana	Tema central	Atividade principal
1 (W37)	Precursos de Mendel I, II e III	Leituras dirigidas; discussão histórica da hereditariedade
2 (W38)	A base cromossômica da hereditariedade	Estudo de capítulos de livro; aulas gravadas
3 (W39)	Do gene ao fenótipo; introdução ao experimento	Videoaula; instruções para coleta e manutenção de moscas
4 (W40)	Implicações da segregação independente	Exercícios com quadros de Punnett
5 (W41)	Genética mendeliana e lei da segregação	Estudo dirigido; videoconferências para dúvidas
6 (W42)	Formulação e teste de hipóteses genéticas	Laboratório virtual; análise estatística (qui-quadrado)
7 (W43)	Escrita científica e análise de resultados	Elaboração do relatório do experimento remoto
8 (W45)	Interação entre genes e influência ambiental	Seminários temáticos; estudos de caso; aula sobre epigenética

Fonte: plano de ensino da disciplina (2020.2). W = semana do ano calendário. A W44 não integrou a sequência por corresponder a semana sem atividades letivas previstas no calendário acadêmico de 2020.2.

Procedimentos de análise dos dados

Foi realizada análise de conteúdo temática (Bardin, 2016) nas respostas ao questionário, com foco na identificação de equívocos conceituais e formas alternativas de compreensão. Essa análise permitiu ir além da categorização correto/incorreto, evidenciando equívocos específicos, misturas de níveis explicativos e ausência de termos estruturantes.

As respostas foram pontuadas em três níveis: correta (2 pontos), parcialmente correta (1 ponto) e incorreta (0 ponto); com base nos critérios previamente estabelecidos e explicitados na Figura 2. A classificação foi realizada pela pesquisadora responsável, docente da turma investigada, seguindo rigorosamente os critérios definidos a priori para cada questão (Figura 2). Os escores foram utilizados exclusivamente para análise descritiva: frequência de classificações por item (percentual de respostas corretas, parcialmente corretas e incorretas por questão) e estatística descritiva do escore total (média e desvio padrão).

Os participantes foram ainda agrupados em três faixas de desempenho: baixo (0–4 pontos), médio (5–7) e alto (8–10); com finalidade exclusivamente descritiva, para facilitar a leitura de padrões e a triangulação com os dados qualitativos. Essa abordagem buscou não apenas descrever o desempenho conceitual dos participantes, mas compreendê-lo em articulação com as narrativas dos diários, identificando relações entre profundidade conceitual, estratégias autorregulatórias e condições contextuais de aprendizagem.

Figura 2*Temas centrais e critérios de correção utilizados na avaliação conceitual das questões do questionário*

Questão	Tema Central	Critério de Correção
Q1	Gene e alelo	Uso correto dos termos “DNA”, “gene”, “alelo”; distinção entre conceito geral e variação
Q2	Herança recessiva	Correta explicação sobre transmissão intergeracional e recessividade
Q3	Genótipo normal (herança dominante)	Identificação do genótipo recessivo (ex.: “ss”) para estatura normal
Q4	Meiose	Nomeação adequada do processo que gera células haploides
Q5	Produção de gametas	Identificação correta dos gametas possíveis a partir de genótipos dados

Fonte: autoria própria

A etapa final consistiu na triangulação entre três conjuntos de dados complementares, coletados ao longo da sequência didática: (i) os escores e conteúdo das respostas do questionário de avaliação conceitual; (ii) as percepções registradas nos diários de bordo dos estudantes; e (iii) a linha do tempo dos eventos pedagógicos, construída a partir da análise semanal das atividades e do volume de menções positivas e negativas atribuídas a cada uma delas.

A integração dos dados qualitativos e quantitativos foi realizada por meio de *joint displays*, cruzando os escores do questionário com as categorias temáticas dos diários. Para esta etapa, foram considerados os registros dos estudantes que participaram de ambos os instrumentos (diários de bordo e questionário conceitual), buscando-se identificar padrões de correspondência entre engajamento (regularidade e profundidade dos registros nos diários) e desempenho conceitual no questionário.

Resultados e Discussão

Este tópico foi organizado em três eixos: cognitivo, afetivo-metacognitivo e pedagógico. Números ilustram a extensão dos fenômenos, mas o foco permanece nas narrativas, preservando o diálogo entre métricas e significado.

1. Eixo Cognitivo: lacunas conceituais e compreensões consolidadas

A análise de conteúdo das respostas abertas ao questionário permitiu identificar padrões recorrentes de equívocos conceituais, evidenciando dificuldades estruturais na organização do conhecimento genético. Três tipos principais de erro se destacaram: (i) confusão entre crossing-over e herança intergeracional, (ii) dificuldade em diferenciar genótipos e gametas e (iii) respostas mecanicistas e não integrativas.

i) Confusão entre crossing-over e herança intergeracional: a Questão 2 buscava avaliar a compreensão sobre transmissão de características recessivas ao longo de gerações. No entanto, diversas respostas revelaram confusão entre mecanismos de recombinação genética (crossing-over) e herança mendeliana clássica.

“A característica pode pular por causa do crossing-over que mistura o DNA dos avós com o dos filhos” (R08, Q2).

“No crossing-over, o gene da tia-avó pode voltar no neto” (R09, Q2).

Esses fragmentos indicam que os estudantes atribuem o fenômeno de “salto de geração” à recombinação meiótica, e não à transmissão silenciosa de alelos recessivos em *loci*

heterozigotos. Isso sugere dificuldades na distinção entre processos de variabilidade genética e padrões de herança autossômica.

ii) Dificuldade em diferenciar genótipos e gametas: na Questão 5, que exigia a identificação dos gametas possíveis a partir de diferentes genótipos, muitos estudantes revelaram confusão entre genótipos compostos (combinações de alelos) e gametas formados pela meiose.

"Aa forma AA, aa" (R01, Q5)

"AaBb → Aa, Bb" (R14, Q5)

Esses exemplos indicam uma interpretação equivocada da produção gamética, confundindo combinações genóticas com os produtos da meiose, e mostram dificuldade em aplicar o princípio da segregação independente dos alelos.

iii) Respostas mecanicistas e não integrativas: o terceiro padrão, o mais abrangente, caracterizou-se pela menção de termos tecnicamente corretos sem articulação entre os níveis de organização biológica (da molécula ao fenótipo). Em Q1, por exemplo, vários participantes definiram gene e alelo de forma circular ou redutora. Uma resposta tipificou esse padrão ao afirmar que os alelos *"vão expressar uma variação específica como, por exemplo, a cor da pele"* (R03, Q1), tratando a relação locus – fenótipo como direta e mecânica, sem mediação de transcrição ou tradução. Em outros casos, a variação alélica foi associada exclusivamente a eventos de mutação: *"os alelos são as formas alternativas, geradas por mutações, de um mesmo gene"* (R13, Q1), equívoco que patologiza a variabilidade genética normal, convertendo em anomalia o que é, na maior parte dos casos, polimorfismo ancestral presente na população.

Em Q3, esse padrão de fragmentação conceitual manifestou-se de forma mais grave: diante de um caso clínico de acondroplasia (herança autossômica dominante), alguns participantes atribuíram estatura normal ao genótipo heterozigoto ou dominante. Um exemplo ilustrativo foi a resposta: *"sendo (a) o gene que determina o crescimento normal é (A) o gene que determina a acondroplasia, o genótipo (Aa) e o genótipo (AA) serão de estrutura normal"* (R07, Q3). Essa inversão revela que o conhecimento sobre dominância e recessividade permanecia desvinculado da capacidade de aplicá-lo a um problema concreto, o que Knippels, Waarlo e Boersma (2005) identificam como falha na integração entre os níveis explicativos simbólico, molecular e fenotípico. Casos semelhantes foram observados nas respostas de R26 (Q3), que indicou *"SS ou Ss"* como genótipo de estatura normal sem qualquer justificativa, sinalizando o uso mecânico da notação alélica sem compreensão do raciocínio subjacente.

Em contraste com os equívocos descritos, a análise quantitativa das respostas ao questionário revelou que alguns conceitos centrais da genética foram adequadamente compreendidos por parte significativa da turma (Figura 3). Termos como *gene*, *alelo* e *meiose* foram frequentemente utilizados de maneira correta. Em Q4, que solicitava a nomeação do processo gerador de células haploides, a meiose foi corretamente identificada pela maioria dos participantes, com poucos casos de confusão com a mitose, equívoco documentado por Chattopadhyay (2012) e Santiago e Carvalho (2020) como recorrente no ensino superior. No entanto, tópicos que envolveram raciocínio lógico, interpretação de padrões de herança e discriminação de gametas ainda requerem reforço pedagógico.

A distribuição descritiva dos escores conceituais revelou que 20% dos estudantes situaram-se na faixa alta de desempenho, 70% na faixa média e 10% na faixa baixa, padrão que indica compreensão parcial dos conteúdos, com dificuldades pontuais especialmente nos tópicos de maior abstração (probabilidade, produção de gametas) ou de integração multinível (gene → fenótipo). O cruzamento com as análises qualitativas mostrou que estudantes da faixa alta utilizaram termos como "gene", "alelo" e "meiose" de forma conceitualmente articulada, enquanto os das faixas média e baixa exibiram maior incidência de respostas fragmentadas, como atribuir o "salto de geração" ao crossing-over ou confundir genótipos com gametas.

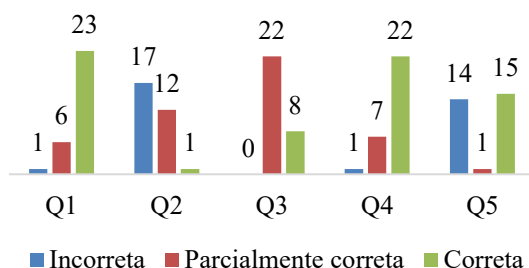


Figura 3

Distribuição de classificações (correta, parcialmente correta e incorreta) nas respostas ao questionário de avaliação conceitual (Q1 a Q5).

2. Eixo Afetivo-Metacognitivo: percepções, emoções e autorregulação

Nos diários de bordo, muitos estudantes relataram curiosidade e entusiasmo, especialmente nas semanas dedicadas à coleta de moscas e à condução dos seminários. Frases como “*nunca mais olharei uma mosca do mesmo modo*” (P3, W43) e “*foi divertido explicar para outras pessoas*” (P3, W39) ilustram a valorização da autonomia e da experimentação prática.

Por outro lado, diversos estudantes relataram emoções negativas associadas às atividades práticas mais desafiadoras da sequência, em especial a coleta e manutenção das moscas. Os relatos evidenciaram uma progressão de frustração ao longo das semanas: o entusiasmo inicial com o experimento foi sendo substituído, em muitos casos, pelo sentimento de impotência diante de obstáculos logísticos concretos. Uma estudante registrou: “*Minha dificuldade até agora é no relatório sobre as moscas, eu consegui pegar apenas uma, mas infelizmente a Bernadete (mosca) faleceu. Estou tentando pegar outras.*” (P5, W41). Em tom semelhante, outro participante descreveu o esgotamento acumulado após múltiplas tentativas fracassadas: “*Depois de dez armadilhas falhas, eu fiz mais seis e essa será minha última tentativa... caso eu não consiga, irei iniciar o relatório assim mesmo.*” (P13, W40). As perdas dos espécimes foram frequentes: “*Todas as minhas moscas morreram, algumas na tentativa de mudar de recipientes e outras sem motivo.*” (P15, W42). Para estudantes em contexto urbano, a dificuldade era ainda anterior à manutenção: “*Estou com dificuldades para pegar as moscas em minha casa, pois não tem moscas. E com isso está sendo muito difícil, já tentei de todas as formas.*” (P16, W40). Esses relatos, tomados em conjunto, revelam que os obstáculos ao experimento não eram pontuais nem individuais, mas estruturais, decorrentes da intersecção entre a natureza do organismo-modelo escolhido e as condições domésticas heterogêneas de uma turma em ensino remoto emergencial.

O laboratório virtual, por sua vez, gerou insegurança técnica e cognitiva em parte da turma. Alguns estudantes expressaram dificuldade para navegar na ferramenta ou interpretar os dados gerados. Como destacou um relato: “*O laboratório era legal, mas me senti perdido. Fiz as etapas, mas não sabia se estava indo no caminho certo*” (P2, W42). Outro apontou: “*Fiquei confuso com a hipótese... não entendi bem o que era esperado*” (P8, W42).

Essas dificuldades se intensificaram em atividades que exigiam raciocínio estatístico ou abstrações complexas, como as relacionadas à probabilidade genética ou herança ligada ao sexo. Um estudante resumiu essa angústia ao afirmar: “*Sou péssimo em probabilidade. Nunca sei se estou usando o cálculo certo*” (P1, W42). Já outro comentou: “*Quando entrou essa parte de herança ligada ao sexo, eu travei... achei tudo muito difícil*” (P16, W41).

A respeito de autorregulação, seguindo os modelos teóricos que definem a autorregulação como um processo composto por fases de planejamento, monitoramento e

avaliação metacognitiva (Zimmerman, 2000) foram identificados comportamentos reflexivos e estratégias adaptativas em diversos relatos.

Na fase de planejamento, alguns estudantes demonstraram capacidade de organizar suas atividades e adaptar seus métodos de estudo. Um exemplo disso é o relato: *"Optei por assistir aos vídeos antes de fazer o exercício porque me ajudam a visualizar melhor"* (P3, W38).

As estratégias de autorregulação descritas nos diários revelaram uma diversidade de recursos adaptativos mobilizados pelos estudantes para lidar com a densidade conceitual da disciplina no contexto remoto. Além da reorganização do tempo de estudo, registraram-se práticas como a elaboração de dicionários pessoais de termos genéticos, a construção de mapas mentais para articular conceitos, e a busca ativa por materiais complementares, incluindo a substituição de livros digitais por exemplares físicos, que permitem anotações marginais. Uma estudante relatou: *"Encontrei um livro físico que está me ajudando, tenho dificuldade com livros digitais pois não posso fazer anotações"* (P3, W41). Esse conjunto de estratégias evidencia que havia, por parte dos estudantes, diversas formas de monitoramento e controle da própria aprendizagem, marcas do que Zimmerman (2000) descreve como autorregulação em nível avançado.

Quanto ao monitoramento da própria compreensão, observou-se que muitos estudantes reconheceram suas dificuldades em tempo real e buscaram estratégias de superação. Um estudante escreveu: *"Fiquei muito confusa com a parte de probabilidade... precisei rever o material várias vezes"* (P7, W42), enquanto outro relatou: *"Não consegui interpretar os resultados no laboratório virtual. Fiquei voltando até entender a hipótese"* (P6, W43). Tais manifestações indicam não apenas consciência da lacuna conceitual, mas também ação deliberada para enfrentá-la, o que é um sinal típico de monitoramento autorregulado.

A fase de avaliação metacognitiva também esteve presente em diversas narrativas, revelando capacidades metacognitivas de natureza distinta. P11 (W41) focou no reconhecimento do progresso acumulado ao longo da sequência: *"Percebi que tive muito rendimento essa semana, consegui desenvolver bem a atividade, isso é um bom sinal"*, enquanto P12 (W45) expressou satisfação com aprendizagens que extrapolavam os objetivos imediatos da disciplina: *"Amei fazer o seminário, através dele tive a oportunidade de adquirir conhecimento sobre assuntos que eu nunca vi na minha vida"*.

Foram igualmente frequentes, porém, registros de autocritica construtiva, nos quais os estudantes identificaram falhas específicas no próprio processo sem atribuí-las a fatores externos. Uma participante registrou: *"Meu desempenho na atividade dos genes não foi muito produtivo, não cheguei a uma nota boa, porém reconheço que foi falta de atenção da minha parte. Buscarei melhorar mais."* (P15, W42). Em outro caso, a dificuldade com o relatório foi avaliada com precisão processual: *"Demorei dias para conseguir me situar e organizar o que escrever. Meu desempenho não foi um dos melhores na escrita do relatório por conta da confusão para entendê-lo. Mas consegui terminá-lo a tempo."* (P7, W43). Também se destacou o reconhecimento de lacunas oriundas de formação anterior: *"Percebi que fiz algumas coisas erradas, já havia estudado essa questão no ensino médio, porém tive que ver alguns vídeos para lembrar."* (P4, W41). Esses relatos evidenciam habilidades de autoavaliação e internalização de critérios de qualidade.

Contudo, nem todos os relatos apontaram para autorregulação ativa. Em alguns casos, a dificuldade foi declarada sem que o estudante descrevesse estratégia de superação: *"Estou apresentando dificuldades na disciplina, às vezes não me sinto motivado com o conteúdo, acredito que seja pelo fato de que estou tendo dificuldade."* (P12, W40). Nesse relato, a dificuldade e a desmotivação se retroalimentam sem que haja um plano de enfrentamento, configurando o que Zimmerman (2000) descreve como ausência de ciclo autorregulatório. Em outros casos, a passividade decorreu não de indiferença, mas do acúmulo de barreiras contextuais que inviabilizavam a ação: *"Pelo fato de requerer tempo, observação, entender*

todo procedimento e finalizar com um relatório, não tive como fazer." (P9, W43). A mesma participante, ao comentar a importância das aulas gravadas, revelou uma dependência estrutural do suporte docente: *"Terei como vê-las à noite ou no fim de semana para prestar bem atenção na sua explicação."* (P9, W37). É uma solução válida, mas reativa, centrada no recurso externo e não em estratégias próprias de organização do estudo. Esses registros sugerem a existência de diferentes níveis de desenvolvimento metacognitivo entre os estudantes, o que reforça a necessidade de estratégias pedagógicas que promovam explicitamente a autorregulação, como tutoria orientada, modelos de pensamento em voz alta e autoavaliações guiadas sistematicamente integradas ao fluxo das atividades.

A análise do conjunto dos relatos permitiu identificar três perfis recorrentes de engajamento afetivo-metacognitivo ao longo da sequência. O primeiro, denominado *engajamento autônomo*, caracterizou estudantes que descreveram estratégias proativas de planejamento e monitoramento, expressaram curiosidade ativa e avaliaram positivamente o próprio progresso (Zimmerman, 2000). O segundo, *ansiedade ativadora*, correspondeu a estudantes que reconheceram suas dificuldades em tempo real e buscaram superá-las, geralmente por releituras, revisões de vídeos ou busca de materiais complementares; mas cujos relatos frequentemente indicavam tensão emocional associada à incerteza sobre o desempenho (Pekrun et al., 2011). O terceiro, *desconexão tecnológica*, agrupou estudantes cujos registros evidenciaram, de forma persistente, o predomínio de barreiras instrumentais (conectividade, dispositivos, interface do laboratório virtual) sobre o engajamento conceitual, com relatos de desistência parcial de etapas da sequência (Lee; Soleimani; Harmon, 2021).

Esses achados sobre três perfis afetivo-metacognitivos distintos complementam o trabalho de Oliveira et al. (2021), que documentou variações nas experiências de estudantes e professores durante o ensino remoto. Enquanto Oliveira et al. focaram em experiências gerais, esse estudo aprofunda como essas variações se manifestam especificamente no aprendizado de Genética e como estão relacionadas ao desempenho conceitual. A análise das barreiras que determinaram esses perfis é aprofundada a seguir, articulando-as às estratégias pedagógicas adotadas na sequência.

3. Eixo Pedagógico: barreiras de aprendizagem e avaliação das estratégias

A análise dos diários de bordo evidenciou a presença de barreiras significativas à participação plena dos estudantes, especialmente em um contexto de ERE. Essas barreiras, de natureza linguística, tecnológica e infraestrutural, interferiram diretamente na realização das atividades propostas e no engajamento com os conteúdos da disciplina.

A barreira linguística se destacou, sobretudo pela presença de tutoriais, vídeos e instruções em inglês. Para alguns estudantes, isso representou um obstáculo à compreensão conceitual e ao aproveitamento das ferramentas digitais. Como destacou uma aluna: *"Fiquei perdida no laboratório porque tudo estava em inglês. Não sabia o que era pra clicar nem o que estava acontecendo."* (P3, W43). Esse dado aponta para a importância de considerar a acessibilidade linguística no planejamento de atividades didáticas com suporte digital. Vale ressaltar que, à época não foram identificadas alternativas de laboratório virtual em português com as mesmas aplicações apropriadas para o ensino do conteúdo específico. Aliás, laboratórios virtuais e acessíveis, em português, para suporte de aulas em Genética são extremamente escassos e limitados.

Para além da barreira do idioma estrangeiro nos materiais digitais, os diários revelaram uma segunda dimensão linguística frequentemente negligenciada: a densidade da linguagem técnico-científica dos próprios textos em português. Vários estudantes relataram a necessidade de releituras múltiplas para compreender capítulos e artigos, e alguns identificaram essa dificuldade como fator de desânimo. Um estudante registrou: *"A sua linguagem se mostra*

muito densa até mesmo para alunos da graduação. A leitura se torna um pouco cansativa, pelo fato de termos que ler diversas vezes o mesmo parágrafo para compreender o que o escritor quis passar." (P12, W38). Esse dado ajuda a compreender o pico de percepções negativas registrado na segunda semana (base cromossômica da hereditariedade), período de maior carga de leitura teórica da sequência, e aponta para a necessidade de mediação didática da linguagem científica, não apenas tradução de ferramentas.

Do ponto de vista tecnológico, muitos estudantes relataram dificuldades relacionadas ao uso do laboratório virtual, tanto em termos de interface quanto de conectividade. Um estudante observou: *"Minha internet caía toda hora, e eu perdia o progresso no laboratório"* (P16, W40), enquanto outro apontou: *"Não consegui terminar o experimento porque o simulador travava no meu celular."* (P3, W43). Tais limitações comprometeram não apenas a experiência de simulação, mas também o entendimento de conceitos-chave como segregação de alelos e formulação de hipóteses.

Por fim, emergiram com frequência relatos de limitações infraestruturais, como ausência de computador, uso exclusivo de celular para atividades complexas, e ambientes domésticos desfavoráveis à concentração. Um estudante resumiu: *"Eu fazia tudo pelo celular e com muita gente em casa. Às vezes não conseguia assistir aos vídeos direito nem acompanhar os colegas."* (P16, W40).

Essas barreiras não apenas dificultaram o engajamento com o conteúdo, mas também impactaram negativamente a autoconfiança dos estudantes, levando a sentimento de frustração, ansiedade e até desistência de algumas etapas do percurso.

A dinâmica semanal das percepções estudantis é apresentada na Figura 4, que mostra a evolução das menções positivas e negativas ao longo da sequência didática. Nota-se um primeiro pico de menções negativas na segunda semana (base cromossômica da hereditariedade), associado à densidade teórica dos textos e à linguagem técnica dos materiais de estudo, e um segundo pico na sétima semana (elaboração do relatório), decorrente das dificuldades práticas na condução do experimento remoto com moscas.

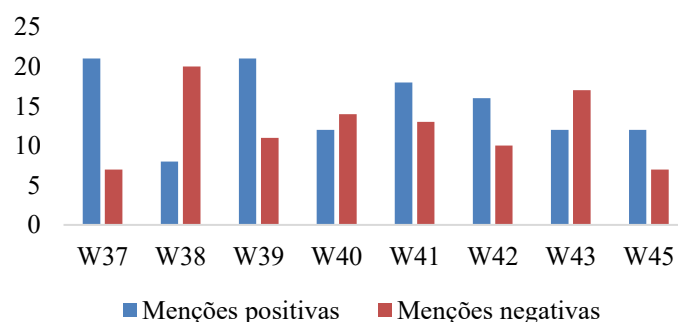


Figura 4

Distribuição semanal das menções positivas e negativas nos diários de bordo dos estudantes (semanas 1 a 8 – W37 a W45).

A terceira semana (do gene ao fenótipo, com introdução ao experimento) marcou uma virada: as menções positivas superaram as negativas (21 vs. 11), coincidindo com a adoção de conteúdo visual e aplicado. O laboratório virtual, realizado na sexta semana, manteve engajamento positivo relativo, funcionando como alternativa pedagógica para os estudantes que encontraram obstáculos no experimento físico.

Essa análise cronológica evidencia que atividades que exigem raciocínio abstrato ou ferramentas digitais pouco acessíveis tendem a gerar mais frustração, enquanto aquelas que promovem interação, autoria e síntese são mais bem recebidas, mesmo que tratem de conteúdos igualmente complexos.

Entre as estratégias didáticas adotadas na sequência de ensino, algumas se destacaram positivamente nas percepções expressas pelos estudantes nos diários de bordo, sendo frequentemente associadas a sentimentos de autonomia, engajamento e compreensão do conteúdo. As aulas gravadas foram amplamente valorizadas por proporcionarem flexibilidade e controle sobre o próprio ritmo de aprendizagem. Muitos estudantes relataram que a possibilidade de pausar, retomar ou assistir mais de uma vez os vídeos contribuiu para reforçar pontos que haviam ficado pouco claros durante as atividades síncronas ou leituras. Uma aluna observou: *"Gostei muito das aulas gravadas. Assisti de novo para tirar dúvidas antes de fazer o exercício."* (P4, W45).

Outro destaque foram os seminários temáticos sobre organismos-modelo em genética, realizados na última semana da sequência, que permitiram aos estudantes pesquisar, elaborar e apresentar conteúdos em grupo. Os relatos evidenciam que essa atividade funcionou não apenas como síntese avaliativa, mas como oportunidade genuína de apropriação ativa de conhecimentos até então desconhecidos. Uma estudante registrou: *"Para mim o estudo aprofundado para apresentação do seminário foi esclarecedor... eu ainda não conhecia nada sobre a Arabidopsis thaliana, e descobrir o quanto é relevante para a genética e desenvolvimento científico no geral."* (P6, W45). Em tom semelhante, outro participante destacou o valor da atividade como experiência formativa inédita: *"Amei fazer o seminário, através dele tive a oportunidade de adquirir conhecimento sobre assuntos que eu nunca vi na minha vida."* (P12, W45), e sugeriu explicitamente sua continuidade nas próximas edições da disciplina. Esse relato adquire peso adicional quando cotejado com os registros do mesmo participante em semanas anteriores, nos quais declarava dificuldades persistentes e desmotivação com o conteúdo (P12, W40). A trajetória de reengajamento observada sugere que atividades de protagonismo e pesquisa autônoma podem funcionar como recurso de revinculação afetiva para estudantes que não respondem ao formato expositivo-dirigido, hipótese com implicações diretas para o planejamento de sequências didáticas em Genética.

A dimensão coletiva também foi valorizada: *"Gostei muito da prática dos seminários, pois de uma forma ou outra somos estimulados a saber especificamente sobre um tema"* (P4, W45), enquanto outro grupo relatou com entusiasmo o processo colaborativo: *"Meu grupo se envolveu no seminário, pesquisamos e estudamos sobre o assunto... houve interação de todos."* (P11, W45). Esses relatos convergem para uma avaliação positiva da estratégia, confirmando que atividades que exigem protagonismo, pesquisa autônoma e comunicação para pares produzem engajamento qualitativo distinto daquele observado nas atividades de conteúdo dirigido.

A tentativa de realizar um experimento com moscas de maneira remota foi citado como um elemento altamente motivador e mobilizador da curiosidade científica. Mesmo diante de dificuldades técnicas ou ambientais, os estudantes expressaram entusiasmo pela proposta investigativa. Um estudante comentou: *"Esta é seguramente uma das melhores, senão a melhor disciplina do PLS, pois a prática com a Drosophila melanogaster é seguramente a melhor prática pedagógica das disciplinas... ela possibilita a testagem na prática mesmo de forma remota dos conceitos aprendidos na aula."* (P13, W43).

Esses dados sugerem que, na percepção dos estudantes investigados, estratégias que oferecem protagonismo, ritmo individualizado e aplicação prática do conhecimento tenderam a ser associadas a maior engajamento e satisfação, mesmo em contextos adversos como o do ensino remoto. Em contrapartida, estratégias centradas em leitura de textos técnicos, exposição passiva e escrita de relatório foram percebidas como menos motivadoras, especialmente quando realizadas sem suporte metacognitivo estruturado, resultado convergente com o que Freeman et al. (2014) e Smith e Wood (2016) documentaram para o ensino presencial de Genética.

Esses achados desse estudo sugerem que esse planejamento deve incluir explicitamente: (1) integração de múltiplos níveis explicativos através de recursos visuais; (2) suporte metacognitivo sistemático e escalável; e (3) atenção às barreiras contextuais reais de acesso dos estudantes.

Triangulação: cruzamentos entre desempenho, dificuldades e engajamento

A análise cronológica das percepções registradas nos diários permitiu quantificar a polaridade afetiva associada a cada semana da sequência (Figura 5). Os dados revelam dois momentos de predominância negativa: a segunda semana (W38 - base cromossômica da hereditariedade), com 20 menções negativas contra 8 positivas, período marcado pela maior carga de leitura teórica; e a sétima semana (W43 - elaboração do relatório), com 17 negativas contra 12 positivas, quando as dificuldades práticas do experimento remoto se tornaram mais evidentes. Em contrapartida, a terceira semana (W39 - do gene ao fenótipo e introdução ao experimento) representou a maior virada positiva da sequência, com 21 menções positivas contra 11 negativas, coincidindo com a adoção de conteúdo visual e aplicado. A primeira semana (W37 - precursores de Mendel) também apresentou ampla predominância positiva (21 vs. 7), possivelmente associada ao caráter narrativo e histórico do conteúdo introdutório.

Figura 5

Distribuição semanal de menções positivas e negativas nos diários de bordo, com indicação do evento pedagógico central e correlação com os conceitos avaliados no questionário (W37–W45).

Semana	Evento Pedagógico (Tema Central)	Sentimento (+)	Sentimento (-)	Volume Total	Correlação com Avaliação Conceitual
W37	Precursos de Mendel I, II e III	21	7	28	Base para Q2 (Hereditariedade) e Q5 (Gametas).
W38	A base cromossômica da hereditariedade	8	20	28	Conceitos de Meiose (Q4) e locus gênico (Q1).
W39	Do Gene ao Fenótipo / Exp. Drosophila	21	11	32	Definições de Gene e Alelo (Q1).
W40	Implicações da Segregação Independente	12	14	26	Entendimento de gametas AaBb (Q5).
W41	Genética Mendeliana e Lei da Segregação	18	13	31	Aplicação das Leis de Mendel (Q2, Q5).
W42	Hipóteses Genéticas e Lab. Virtual	16	10	26	Proporções e cálculos de probabilidade.
W43	Relatório de Experimento Remoto	12	17	29	Visualização prática da segregação (Q2, Q3).
W45	Interação Gênica e Seminários	12	7	19	Complexidade além do mendelismo simples.

A triangulação desses dados com os escores do questionário sugere que as semanas com predominância de menções positivas (aquelas com abordagem visual, aplicada ou narrativa)

correspondem aos conceitos com melhor desempenho conceitual (gene, alelo, meiose), enquanto as de maior negatividade coincidem com os tópicos de maior dificuldade persistente (segregação independente, produção de gametas). Essa correspondência, contudo, merece uma leitura cautelosa: os conceitos com melhor desempenho são precisamente aqueles com maior probabilidade de já terem sido abordados na educação básica e em outras disciplinas do curso, como Citologia; ao passo que os tópicos de maior dificuldade são exatamente aqueles em que se espera que o ensino superior produza avanço conceitual efetivo. Isso sugere que parte do desempenho positivo observado pode refletir consolidação de aprendizagens anteriores, e não necessariamente aprendizagem nova induzida pelas estratégias adotadas para aqueles temas na sequência didática.

A análise da matriz “Estudante $\times$ Tema”, construída a partir do cruzamento entre os escores do questionário e as categorias qualitativas extraídas dos diários de bordo, revelou elementos adicionais sobre o perfil dos estudantes e suas dificuldades específicas (Figura 6). O escore total dos estudantes variou de 3 a 9, com uma média de 6,75 e desvio-padrão de 1,77, indicando uma dispersão moderada no desempenho geral. Observou-se, de forma descritiva, que estudantes com registros mais frequentes e reflexivos nos diários tenderam a apresentar escores mais elevados no questionário conceitual. Essa correspondência, embora não testada inferencialmente dado o tamanho da amostra, sugere que o engajamento metacognitivo continuado pode funcionar como fator de suporte à consolidação conceitual, hipótese que pesquisas futuras com amostras maiores podem examinar com maior rigor.

A análise da matriz evidenciou que as barreiras identificadas nos diários não se distribuem aleatoriamente ao longo da sequência: dificuldades de natureza tecnológica e linguística foram expressas predominantemente nas semanas de maior carga teórica e de uso intensivo do laboratório virtual, coincidindo com os níveis de negatividade afetiva observados em W38 e W43. Essa correspondência temporal entre tipo de barreira e momento de maior negatividade reforça a interpretação de que os pontos críticos da sequência não foram determinados apenas pelo conteúdo, mas pela combinação entre complexidade conceitual e exigência instrumental.

Esses dados confirmam o padrão já descrito no Eixo Pedagógico: a intercalação entre teoria e prática visual, experimento remoto e laboratório virtual, foi determinante para sustentar o engajamento, funcionando o laboratório virtual como alternativa pedagógica para estudantes que não obtiveram êxito no experimento físico.

Estudantes que relataram múltiplas dificuldades simultâneas, especialmente combinando barreiras linguísticas (como a presença de materiais em inglês) e obstáculos tecnológicos (uso limitado do laboratório virtual), apresentaram em sua maioria baixa pontuação no questionário conceitual. Esses casos refletem não apenas lacunas no domínio dos conteúdos, mas também fragilidade na mediação pedagógica frente às condições reais de acesso.

Em direção oposta, estudantes que descreveram experiências de engajamento ativo, com menções frequentes a curiosidade, motivação ou protagonismo, e que relataram condições externas favoráveis (ambiente adequado e acesso funcional à internet) tenderam a atingir escores mais altos e a demonstrar maior segurança conceitual nas respostas.

A triangulação revelou um padrão que merece leitura cuidadosa: os estudantes de faixa alta de desempenho foram simultaneamente os que registraram maior frequência de relatos de ansiedade e monitoramento tenso do próprio progresso. Uma hipótese é que esse padrão pode ser interpretado como expressão de ansiedade ativadora, a qual distingue-se funcionalmente da ansiedade debilitadora, por mobilizar esforço e aguçar o monitoramento metacognitivo em vez de paralisá-lo (Alpert e Haber, 1960; Pekrun et al., 2011; Culot et al., 2021). A questão que estudos futuros com delineamentos longitudinais podem responder é em que condições essa

tensão permanece ativadora; e quando, sob alta carga cognitiva ou contextos de isolamento como o remoto emergencial, pode converter-se em sofrimento real.

Esses achados indicam que o planejamento pedagógico em Genética, e possivelmente em disciplinas de alta abstração conceitual, não pode tratar a dimensão afetivo-metacognitiva como variável de contexto a ser gerenciada indiretamente. Os três perfis identificados respondem a demandas pedagógicas distintas: o engajamento autônomo precisa de desafio e complexidade crescente; a ansiedade ativadora precisa de ferramentas que convertam vigilância em estratégia deliberada; a desconexão precisa de mediação explícita antes que o conteúdo possa ser acessado.

Figura 6

Matriz Estudante × Tema: escores conceituais por questão, faixa de desempenho, perfil afetivo-metacognitivo, barreira pedagógica dominante e equívoco principal identificado (N=16).

Participante	Escores por questão (0–2)						Escore total		Dados dos diários de bordo	
	Q1 Gene/Alelo	Q2 Herança Recessiva	Q3 Genótipo Normal	Q4 Meiose	Q5 Gametas	Total (0–10)	Faixa Desempenho	Perfil Afetivo- Metacognitivo	Barreira Pedagógica Dominante	Equívoco principal
P1	1 (Parcial)	1 (Parcial)	2 (Correta)	2 (Correta)	1 (Parcial)	7	Médio	Ansiedade ativadora	Linguística	Alelo=variante cromossômica (não molecular)
P2	2 (Correta)	1 (Parcial)	2 (Correta)	2 (Correta)	1 (Parcial)	8	Alto	Ansiedade ativadora	Tecnológica	Gameta c: 'Ba' em vez de 'A ou B'
P3	2 (Correta)	2 (Correta)	2 (Correta)	2 (Correta)	2 (Correta)	10	Alto	Engajamento autônomo	Nenhuma dominante	Nenhum equívoco relevante
P4	1 (Parcial)	0 (Incorreta)	2 (Correta)	2 (Correta)	1 (Parcial)	6	Médio	Engajamento autônomo	Tecnológica	Crossing-over = mecanismo de herança (Q2)
P5	1 (Parcial)	0 (Incorreta)	0 (Incorreta)	2 (Correta)	1 (Parcial)	4	Baixo	Ansiedade ativadora	Infraestrutural	Q3: genótipo 'aa' (letra errada); Q2: probabilidade ≠ mecanismo
P6	2 (Correta)	2 (Correta)	1 (Parcial)	2 (Correta)	0 (Incorreta)	7	Médio	Engajamento autônomo	Tecnológica	Q5: gametas = genótipos (AA, BB)
P7	1 (Parcial)	1 (Parcial)	2 (Correta)	2 (Correta)	0 (Incorreta)	6	Médio	Ansiedade ativadora	Linguística	Q5: gameta 'As' (letra incorreta); Q2: vago
P8	1 (Parcial)	2 (Correta)	2 (Correta)	2 (Correta)	1 (Parcial)	8	Alto	Ansiedade ativadora	Tecnológica	Q5 d: gameta 'aa' em vez de 'a'
P9	1 (Parcial)	0 (Incorreta)	0 (Incorreta)	2 (Correta)	1 (Parcial)	4	Baixo	Desconexão tecnológica	Infraestrutural	Q3: Ss = normal (invertido); Q2: herança ≠ mecanismo

P10	2 (Correta)	1 (Parcial)	2 (Correta)	2 (Correta)	2 (Correta)	9	Alto	Engajamento autônomo	Nenhuma dominante	Q2: geração não explicitada mecanicamente
P11	2 (Correta)	0 (Incorreta)	0 (Incorreta)	2 (Correta)	0 (Incorreta)	4	Baixo	Ansiedade ativadora	Tecnológica	Q2 e Q5: probabilidade ≠ mecanismo; Q3: inversão dominante/recessivo
P12	2 (Correta)	0 (Incorreta)	2 (Correta)	2 (Correta)	1 (Parcial)	7	Médio	Ansiedade ativadora	Linguística	Q2: crossing-over = herança intergeracional
P13	2 (Correta)	1 (Parcial)	2 (Correta)	2 (Correta)	1 (Parcial)	8	Alto	Engajamento autônomo	Nenhuma dominante	Q5 b: faltou 'ab' na lista
P14	1 (Parcial)	1 (Parcial)	2 (Correta)	2 (Correta)	0 (Incorreta)	6	Médio	Desconexão tecnológica	Infraestrutural	Q5: gameta 'aa' em vez de 'a'
P15	2 (Correta)	1 (Parcial)	2 (Correta)	2 (Correta)	1 (Parcial)	8	Alto	Engajamento autônomo	Nenhuma dominante	Q5 a e d: gameta = genótipo (Aa, aa)
P16	2 (Correta)	0 (Incorreta)	1 (Parcial)	2 (Correta)	1 (Parcial)	6	Médio	Desconexão tecnológica	Infraestrutural + Tecnológica	Q2: probabilidade ≠ mecanismo; Q3: genótipo correto mas explicação confusa
Média geral do subgrupo (n=16)						6,75	DP: 1,77			
Legenda - Escores: 2=Correta, 1=Parcialmente correta, 0=Incorreta Faixas: Alto=8–10, Médio=5–7, Baixo=0–4 Perfis afetivos identificados pela análise de conteúdo temática dos diários (Bardin, 2016) Escores baseados nos critérios da Figura 2. Fonte: autoria própria.										

Considerações Finais

Os resultados deste estudo evidenciam a complexidade do processo de ensino-aprendizagem em Genética no ensino superior mediado por tecnologias em contexto de ensino remoto. A análise integrada de dados quantitativos e qualitativos permitiu identificar lacunas conceituais persistentes, três perfis afetivo-metacognitivos distintos, e o impacto significativo das barreiras contextuais sobre o desempenho e o bem-estar dos estudantes.

Entre os achados que merecem destaque, ressalta-se a triangulação entre as três fontes de dados (questionário conceitual, diários de bordo e registros de desempenho) como elemento metodológico que permitiu revelar padrões que nenhuma fonte isolada teria evidenciado. O achado mais contraintuitivo desse processo foi a associação positiva entre alto desempenho conceitual e alta frequência de menções afetivas negativas: estudantes que obtiveram os maiores escores no questionário foram, simultaneamente, aqueles cujos diários registraram maior tensão emocional e autocrítica ao longo da sequência. Esse resultado desafia leituras simplificadas sobre o papel do afeto na aprendizagem e sugere que a ansiedade, quando acompanhada de estratégias ativas de monitoramento e superação, pode funcionar como componente do engajamento cognitivo profundo.

No plano conceitual, a análise do equívoco entre crossing-over e herança ligada ao sexo revelou-se o exemplo mais nítido de como lacunas na articulação entre os níveis celular e molecular da Genética persistem mesmo após instrução formal. Esses achados, tomados em conjunto, apontam para a necessidade de sequências didáticas que integrem explicitamente suporte metacognitivo, mediação emocional e articulação multinível dos conceitos genéticos, especialmente em contextos de ensino remoto emergencial.

Com base nisso, este estudo oferece três recomendações para docentes e formadores: (1) integrar explicitamente os níveis explicativos (molecular, cromossômico, fenotípico) através de recursos visuais e atividades multi-representacionais; (2) priorizar estratégias que promovam autonomia e experimentação, oferecendo suporte estruturado e escalável (roteiros guiados, rubricas de autoavaliação, suporte por pares); (3) tratar as condições reais de acesso dos estudantes (conectividade, dispositivos, domínio da linguagem científica) como variável pedagógica, não como condição prévia assumida.

Os dados empíricos aqui apresentados, provenientes de uma instituição pública brasileira em contexto de ERE, contribuem para preencher uma lacuna na literatura sobre formação inicial de professores de Biologia em ambientes digitais. Análises recentes sobre ensino híbrido pós-pandemia destacam que o sucesso depende menos da tecnologia e mais da intencionalidade do desenho pedagógico. Os achados deste estudo oferecem evidências específicas do contexto brasileiro para o desenho de práticas híbridas inclusivas e acessíveis.

Referências

- ALPERT, R.; HABER, R. N. Anxiety in academic achievement situations. *The Journal of Abnormal and Social Psychology*, v. 61, n. 2, p. 207–215, 1960. DOI: 10.1037/h0045464.
- BARDIN, L. *Análise de Conteúdo*. 1. ed. São Paulo: Edições 70, 2016.
- BORJA, E. A.; MUTYA, R. C. Enhancing student's conceptual understanding on the patterns of Mendelian genetics through task-based learning. *JPBI (Jurnal Pendidikan Biologi Indonesia)*, v. 10, n. 1, p. 107–114, 2024.
- CHATTOPADHYAY, A. Understanding of mitosis and meiosis in higher secondary students of northeast India and the implications for genetics education. *Education*, v. 2, n. 3, p. 41–47, 2012. DOI: 10.5923/j.edu.20120203.04.

- CHOIRUNISA, N.; SUSANTO, H.; ZUBAIDAH, S. Barrier in mastering knowledge of genetic concepts in college students. In: HABIDDIN, H. et al. (Ed.). Proceedings of the International Conference on Mathematics and Science Education (ICoMSE 2023). Advances in Social Science, Education and Humanities Research, v. 852. Paris: Atlantis Press, 2024. DOI: 10.2991/978-2-38476-275-0_14.
- CULOT, C.; CORLAZZOLI, G.; FANTINI-HAUWEL, C.; GEVERS, W. The relation between task-relatedness of anxiety and metacognitive performance. *Consciousness and Cognition*, v. 94, 103191, 2021. DOI: 10.1016/j.concog.2021.103191.
- DONHAM, C. et al. I will teach you here or there, I will try to teach you anywhere: perceived supports and barriers for emergency remote teaching during the COVID-19 pandemic. *International Journal of STEM Education*, v. 9, n. 19, 2022. DOI: 10.1186/s40594-022-00335-1.
- FABRÍCIO, M. F. L.; JÓFILI, Z. M. S.; SEMEN, L. S. M.; LEÃO, A. M. A. C. A compreensão das leis de Mendel por alunos de Biologia na educação básica e na licenciatura. *Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências*, Belo Horizonte, v. 8, n. 1, p. 83–103, jan./jun. 2006. DOI: 10.1590/1983-21172006080106.
- FREEMAN, S. et al. Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 111, n. 23, p. 8410–8415, 2014. DOI: 10.1073/pnas.1319030111.
- 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. DOI: 10.1080/00219266.2005.9655976.
- KAWASAKI, H. et al. Remote teaching due to COVID-19: an exploration of its effectiveness and issues. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 18, n. 5, e2672, 2021. DOI: 10.3390/ijerph18052672.
- LEE, J.; SOLEIMANI, F.; HARMON, S. W. Emergency move to remote teaching: a mixed-method approach to understanding faculty perceptions and instructional practices. *American Journal of Distance Education*, v. 35, n. 4, p. 259–275, 2021. DOI: 10.1080/08923647.2021.1980705.
- OLIVEIRA, G.; TEIXEIRA, J. G.; TORRES, A.; MORAIS, C. An exploratory study on the emergency remote education experience of higher education students and teachers during the COVID-19 pandemic. *British Journal of Educational Technology*, v. 52, n. 4, p. 1357–1376, 2021. DOI: 10.1111/bjet.13112.
- PEREIRA, S. S.; CUNHA, J. S.; LIMA, E. M. Estratégias didático-pedagógicas para o ensino-aprendizagem de Genética. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 25, n. 1, p. 41–59, 2020. DOI: 10.22600/1518-8795.IENCI2020V25N1P41.
- PEKRUN, R. et al. Measuring emotions in students' learning and performance: The Achievement Emotions Questionnaire (AEQ). *Contemporary Educational Psychology*, v. 36, n. 1, p. 36–48, 2011. DOI: 10.1016/j.cedpsych.2010.10.002.
- PEKRUN, R. Control-Value Theory: from achievement emotion to a general theory of human emotions. *Educational Psychology Review*, v. 36, n. 68, 2024. DOI: 10.1007/s10648-024-09909-7.
- RUBTSOVA, A. et al. Instructional framework for emergency remote teaching in higher education. *Education Sciences*, v. 13, n. 6, e613, 2023. DOI: 10.3390/educsci13060613.
- SANTIAGO, S. A.; CARVALHO, H. F. A fragilidade do ensino da meiose. *Ciência & Educação*, v. 26, e20025, 2020. DOI: 10.1590/1516-731320200025.
- SANTOS, J. E. L.; CASTRO, K. S.; CASTRO, I. F. A. Percepções de licenciandos em Ciências Biológicas sobre a disciplina de Genética e a adaptação ao ensino remoto. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 9, e28810918088, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i9.18088.

SMITH, M. K.; WOOD, W. B. Teaching genetics: past, present, and future. *Genetics*, v. 204, n. 1, p. 5–10, set. 2016. DOI: 10.1534/genetics.116.187138.

WOLYNIAK, M. J.; BEMIS, L. T.; PRUNUSKE, A. J. Improving medical students' knowledge of genetic disease: a review of current and emerging pedagogical practices. *Advances in Medical Education and Practice*, v. 6, p. 597–607, 2015. DOI: 10.2147/AMEP.S73644.

ZIMMERMAN, B. J. Attaining self-regulation: a social cognitive perspective. In: BOEKAERTS, M.; PINTRICH, P. R.; ZEIDNER, M. (Ed.). *Handbook of self-regulation*. Orlando: Academic Press, 2000. p. 13–39.

AUTORIA

ELAINI OLIVEIRA DOS SANTOS ALVES

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4203-5266>

elaini.alves@upe.br

Universidade de Pernambuco (UPE), Campus Petrolina, Pernambuco, Brasil.

DECLARAÇÃO SOBRE DISPONIBILIDADE DE DADOS

Os conteúdos subjacentes ao texto da pesquisa estão contidos no manuscrito.

CONTRIBUIÇÃO DE AUTORIA

Autora única – Conceituação, Análise Formal, Investigação, Metodologia, Redação – Preparação do Rascunho Original – Edição – Revisão – Escrita final.

DECLARAÇÃO DE CONFLITO DE INTERESSE

A autora declara que não há conflito de interesse com o presente artigo.

DECLARAÇÃO DE USO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Foi utilizada ferramenta de inteligência artificial como apoio à revisão linguística, organização textual e discussão preliminar de estrutura argumentativa. Todas as análises, interpretações, conclusões e a redação final do manuscrito são de responsabilidade exclusiva da autora.

FINANCIAMENTO

Não houve financiamento externo para este estudo.

MINIBIOGRAFIA

Elaini Oliveira dos Santos Alves: Doutora em Genética e Biologia Molecular. Professora Adjunta em Dedicção Exclusiva na Universidade de Pernambuco (UPE), Campus Petrolina, no curso de Licenciatura em Ciências Biológicas. Pesquisadora afiliada à rede iGLAS-Brasil. Áreas de atuação: ensino de Genética, educação em Ciências, formação de professores e genômica educacional.

CV: [http://lattes.cnpq.br/\[SEU_NUMERO_LATTES\]](http://lattes.cnpq.br/[SEU_NUMERO_LATTES])

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4203-5266>

elaini.alves@upe.br

Este preprint foi submetido sob as seguintes condições:

- Os autores declaram que os necessários Termos de Consentimento Livre e Esclarecido de participantes ou pacientes na pesquisa foram obtidos e estão descritos no manuscrito, quando aplicável.
- Os autores declaram que a elaboração do manuscrito seguiu as normas éticas de comunicação científica.
- Os autores declaram que estão cientes que são os únicos responsáveis pelo conteúdo do preprint e que o depósito no SciELO Preprints não significa nenhum compromisso de parte do SciELO, exceto sua preservação e disseminação.
- Os autores declaram que os dados, aplicativos e outros conteúdos subjacentes ao manuscrito estão referenciados.
- O manuscrito depositado está no formato PDF.
- Os autores declaram que a pesquisa que deu origem ao manuscrito seguiu as boas práticas éticas e que as necessárias aprovações de comitês de ética de pesquisa, quando aplicável, estão descritas no manuscrito.
- Os autores declaram que uma vez que um manuscrito é postado no servidor SciELO Preprints, o mesmo só poderá ser retirado mediante pedido à Secretaria Editorial do SciELO Preprints, que afixará um aviso de retratação no seu lugar.
- Os autores concordam que o manuscrito aprovado será disponibilizado sob licença [Creative Commons CC-BY](#).
- O autor submissor declara que as contribuições de todos os autores e declaração de conflito de interesses estão incluídas de maneira explícita e em seções específicas do manuscrito.
- Os autores declaram que o manuscrito não foi depositado e/ou disponibilizado previamente em outro servidor de preprints ou publicado em um periódico.
- Caso o manuscrito esteja em processo de avaliação ou sendo preparado para publicação mas ainda não publicado por um periódico, os autores declaram que receberam autorização do periódico para realizar este depósito.
- O autor submissor declara que todos os autores do manuscrito concordam com a submissão ao SciELO Preprints.