

Do giz às telas: comparação de efetividade entre abordagens tradicionais e tecnológicas no ensino de Biologia

From chalk to screens: A Comparison of the Effectiveness of Traditional and Technological Approaches in Biology Education

De la tiza a las pantallas: comparación de la eficacia entre los enfoques tradicionales y tecnológicos en la enseñanza de la Biología

Gilson Bruno Souza e Silva ⁱ

Mestre em Ensino de Biologia | Universidade Federal de Juiz de Fora | Minas Gerais | Brasil 

Márcio Luís Moreira de Souza ⁱⁱ

Doutor em Bioquímica e Biologia Molecular | Universidade Federal de Juiz de Fora | Minas Gerais | Brasil 

Roberto Queiroga Lautner ⁱⁱⁱ

Doutor em Fisiologia | Universidade Federal de Juiz de Fora | Minas Gerais | Brasil 

Resumo:

A educação contemporânea tem sido profundamente impactada pelo avanço das Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação (TDICs), ampliando possibilidades de representação, comunicação e mediação pedagógica nos processos de ensino e aprendizagem. Mesmo nesse cenário, as metodologias tradicionais de ensino, historicamente consolidadas e centradas na atuação do professor, continuam exercendo papel relevante no processo educacional. Diante dessas questões, o objetivo do estudo foi comparar o desempenho de estudantes submetidos a uma abordagem tradicional e uma intervenção mediada por TDICs, ambas no ensino de Citologia. Especificamente, buscou-se desenvolver um recurso audiovisual para o ensino do conteúdo, constituído por um vídeo animado sobre células eucariontes e procariontes; comparar o desempenho acadêmico produzido pelas duas formas de mediação; analisar a relação entre os resultados e características cognitivas e de personalidade dos estudantes; e, por fim, discutir potencialidades e limitações da utilização das TDICs no contexto investigado. O estudo contou com a participação de estudantes do segundo ano do ensino médio de uma escola pública localizada no município de Governador Valadares e foi aplicado em delineamento quase-experimental com duas turmas. A comparação entre os grupos foi complementada por técnicas de pareamento ótimo, visando reduzir o efeito de diferenças individuais de personalidade sobre os dados. Os resultados indicaram que, nas condições investigadas, os estudantes submetidos à abordagem tradicional de ensino apresentaram desempenho superior quando comparado aos estudantes da intervenção mediada por TDICs, mesmo após o controle de variáveis individuais por meio do pareamento ótimo. Os dados sugerem que os recursos tecnológicos constituem instrumentos complementares ao trabalho docente, e não substitutos da mediação exercida pelo professor. Concluiu-se que a efetividade das TDICs depende da forma como são integradas ao processo de ensino e da qualidade da mediação pedagógica.

Palavras-Chaves: Ensino de Biologia. Metodologias de ensino. Tecnologias digitais da informação

e comunicação.

Abstract:

Contemporary education has been profoundly impacted by advances in Digital Information and Communication Technologies (DICTs), expanding the possibilities for representation, communication, and pedagogical mediation in teaching and learning processes. Even in this context, traditional teaching methodologies — which are historically established and teacher-centered — continue to play a significant role in the educational process. In light of these issues, the objective of this study was to compare the performance of students exposed to a traditional teaching approach and to an ICT-mediated intervention in the teaching of cytology. Specifically, the study sought to develop an audiovisual resource for teaching the content, consisting of an animated video on eukaryotic and prokaryotic cells; to compare the academic performance resulting from the two forms of instruction; to analyze the relationship between the results and the students' cognitive and personality characteristics; and, finally, to discuss the potential and limitations of using TDICs in the context under investigation. The study involved second-year high school students from a public school located in the municipality of Governador Valadares and was conducted using a quasi-experimental design with two classes. The comparison between the groups was supplemented by optimal matching techniques, aiming to reduce the effect of individual personality differences on data. The results indicated that, under the conditions investigated, the traditional approach outperformed the TDIC-mediated intervention, even after controlling for individual variables through optimal matching, suggesting that technologies are complementary tools for teaching rather than substitutes for teacher mediation. It was concluded that the effectiveness of TDICs depends on how they are integrated into the teaching process and on the quality of pedagogical mediation.

Keywords: Biology Education. Teaching Methodologies. Digital Information and Communication Technologies.

Resumen:

La educación contemporánea se ha visto profundamente influida por el avance de las tecnologías digitales de la información y la comunicación (TDIC), lo que ha ampliado las posibilidades de representación, comunicación y mediación pedagógica en los procesos de enseñanza y aprendizaje. Aun así, las metodologías docentes tradicionales, históricamente consolidadas y centradas en la actuación del profesor, siguen desempeñando un papel relevante en el proceso educativo. Ante estas cuestiones, el objetivo del estudio fue comparar el rendimiento de los estudiantes sometidos a un enfoque docente tradicional y a una intervención mediada por las TIC en la enseñanza de la citología. En concreto, se buscó desarrollar un recurso audiovisual para la enseñanza de los contenidos, compuesto por un vídeo animado sobre células eucariotas y procariotas; comparar el rendimiento académico obtenido con las dos formas de mediación; analizar la relación entre los resultados y las características cognitivas y de personalidad de los alumnos; y, por último, debatir las posibilidades y limitaciones del uso de las TIC en el contexto investigado. En el estudio participaron alumnos de segundo curso de bachillerato de un instituto público situado en el municipio de Governador Valadares, y se llevó a cabo mediante un diseño cuasi-experimental con dos grupos. La comparación entre los grupos se complementó con técnicas de emparejamiento óptimo, con el fin de reducir el efecto de las diferencias individuales de personalidad sobre los datos. Los resultados indicaron que, en las condiciones estudiadas, el enfoque tradicional presentó un rendimiento superior al de la intervención mediada por TDIC, incluso tras controlar las variables individuales mediante el emparejamiento óptimo, lo que sugiere que los recursos tecnológicos constituyen instrumentos complementarios a la labor docente, y no sustitutos de la mediación ejercida por el profesor. Se concluyó que la eficacia de las TDIC depende de la forma en que se

integran en el proceso de enseñanza y de la calidad de la mediación pedagógica.

Palabras clave: Enseñanza de la Biología. Metodologías didácticas. Tecnologías digitales de la información y la comunicación.

1 INTRODUÇÃO

Ao articular conceitos científicos à realidade social, a Biologia contribui para a formação de sujeitos capazes de analisar criticamente os fenômenos naturais e de intervir de maneira responsável no mundo em que estão inseridos (Sasseron, 2018). Sob essa perspectiva, o ensino de Biologia desempenha papel estratégico na formação integral dos estudantes, favorecendo o desenvolvimento da autonomia intelectual, do pensamento crítico e da capacidade de tomada de decisões em diferentes contextos da vida social, acadêmica e profissional (Brasil, 2017).

Entre os diversos campos que compõem a Biologia, a Citologia ocupa posição de destaque por investigar a célula, entendida como a menor unidade estrutural e funcional dos seres vivos. Nesse contexto, o ensino de Citologia apresenta desafios consideráveis, sobretudo em função do caráter abstrato de muitos conceitos e da dificuldade de visualização das estruturas e processos celulares. Estruturas microscópicas exigem dos estudantes uma capacidade de abstração e representação espacial. Historicamente, o ensino dessa área esteve apoiado na centralidade da fala do professor e no uso de recursos como o quadro e o giz, cenário que ganha outros contornos a partir da entrada de tecnologias digitais de ensino nas escolas básicas, particularmente diante de conteúdos que demandam visualização imagética e integração de informações.

À luz da Teoria da Aprendizagem Significativa, proposta por Ausubel (2003), as Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação (TDICs) podem favorecer a ancoragem de novos conhecimentos à estrutura cognitiva prévia dos estudantes, contribuindo para a compreensão de conceitos trabalhados (Kenski, 2012). O uso de vídeos educativos, animações digitais, simulações e ambientes virtuais de aprendizagem pode favorecer abordagens mais visuais e interativas, capazes de contextualizar conceitos complexos, como no caso do ensino de Biologia. A cultura digital, conforme discutem Palfrey e Gasser (2011), impactou as formas de acesso e a produção e a circulação do conhecimento, exigindo que a escola reavalie suas práticas para dialogar com as experiências e expectativas dos estudantes contemporâneos.

Não obstante, o uso de tecnologias também impõe desafios importantes, como risco de dispersão da atenção, superficialidade na aprendizagem e impactos negativos sobre habilidades cognitivas fundamentais, como concentração, memória e pensamento crítico, quando utilizadas de

forma excessiva ou descontextualizadas (Leite, 2021; Mendes, 2023). Diante disso, torna-se necessário compreender o papel específico das TDICs no processo ensino-aprendizagem: substitutas da mediação docente ou ferramentas complementares ao trabalho pedagógico? Quando integrados de forma equilibrada e intencional, recursos como vídeos e animações digitais podem contribuir de maneira significativa para o ensino de conteúdos complexos. Essa concepção está alinhada às diretrizes da Base Nacional Comum Curricular (BNCC), que destaca a importância do uso crítico, ético e responsável das tecnologias digitais como uma competência essencial para a formação dos estudantes (Brasil, 2017).

Embora a literatura recente frequentemente destaque o potencial transformador das TDICs, isso não implica que tais recursos produzam, em todas as situações, melhores resultados de aprendizagem quando comparados às metodologias tradicionalmente empregadas. A incorporação de tecnologias ao contexto escolar deve ser compreendida como uma hipótese pedagógica a ser investigada empiricamente, e não como um pressuposto cuja eficácia possa ser tomada como evidente. Nesse sentido, a presente pesquisa parte da compreensão de que tanto as metodologias tradicionais quanto aquelas mediadas por tecnologias possuem potencialidades e limitações, cabendo à investigação identificar em quais circunstâncias cada uma delas favorece de forma mais consistente o processo de aprendizagem.

Desse modo, o estudo toma forma a partir de uma indagação direta e instigante: a forma como a Citologia é ensinada interfere, de fato, no desempenho dos estudantes? Diante desse problema, o objetivo geral do estudo foi comparar o desempenho de estudantes submetidos a uma abordagem tradicional de ensino e a uma intervenção mediada por TDICs no ensino de Citologia. Especificamente, buscou-se desenvolver um recurso audiovisual para o ensino do conteúdo, comparar o desempenho acadêmico produzido pelas duas formas de mediação, analisar a relação entre os resultados e características cognitivas e de personalidade dos estudantes e, por fim, discutir potencialidades e limitações da utilização das TDICs no contexto investigado. A proposta não se limita a observar resultados superficiais. Há um cuidado metodológico cujo objetivo é garantir maior confiabilidade às conclusões. Por isso, os estudantes foram pareados conforme características específicas, como habilidades cognitivas e traços de personalidade.

É importante, nesse contexto, delimitar o alcance da comparação realizada. Os resultados aqui discutidos não pretendem estabelecer uma hierarquia geral entre metodologias tradicionais e TDICs, mas compreender o desempenho produzido por duas formas específicas de mediação pedagógica, aplicadas a estudantes do segundo ano do Ensino Médio de uma escola pública de Governador Valadares, no ensino de Citologia. A intervenção tecnológica analisada corresponde,

especificamente, ao uso de um produto educacional desenvolvido nesta pesquisa, constituído por recurso audiovisual animado sobre células eucariontes e procariontes. Assim, as conclusões devem ser compreendidas à luz dessas condições particulares de implementação, do conteúdo avaliado e das características da amostra investigada.

Portanto, a lacuna que orienta esta investigação não se restringe à comparação entre metodologias tradicionais e recursos tecnológicos, mas está relacionada à necessidade de compreender essa comparação considerando as diferenças cognitivas e de personalidade dos estudantes. Se a efetividade das TDICs depende das condições em que são integradas ao processo pedagógico e das características de quem aprende, torna-se relevante investigar se estudantes com perfis individuais distintos respondem de maneira semelhante à intervenção tecnológica. É nesse espaço que se insere a presente pesquisa, que compara uma abordagem expositiva tradicional a uma intervenção mediada por TDICs no ensino de Citologia e, simultaneamente, examina a relação entre o desempenho observado e características cognitivas e de personalidade dos estudantes.

2 ENSINO E METODOLOGIA NO CONTEXTO DA CULTURA DIGITAL

2.1 Educação e sociedade na era das TDICs

A educação atual está inserida em um cenário marcado por mudanças profundas nas formas de comunicação, interação social e produção do conhecimento. A consolidação da sociedade em rede e a presença constante das TDICs transformaram significativamente a maneira como as pessoas aprendem, ensinam e se relacionam com a informação. Para além de ampliar o acesso a conteúdos, essas tecnologias alteraram os próprios modos de pensar e de atribuir sentido às experiências educativas.

Castells (2022) destaca que a cultura digital introduziu novas dinâmicas cognitivas e comunicacionais, impactando diretamente as instituições educacionais. Nesse contexto, torna-se cada vez mais evidente um distanciamento geracional entre professores e gestores formados em um período anterior à ubiquidade tecnológica e estudantes das gerações mais recentes, especialmente a chamada Geração Alpha, composta por indivíduos nascidos a partir de 2010, caracterizados por uma intensa imersão em tecnologias digitais desde a primeira infância e por novas formas de interação, aprendizagem e construção do conhecimento (McCrindle, 2014). Esses estudantes crescem em ambientes digitais altamente interativos, habituados ao uso contínuo de dispositivos móveis, plataformas digitais, inteligência artificial e redes sociais. Tal imersão influencia

profundamente suas formas de comunicação, suas expectativas em relação ao ensino e seus modos de aprender (Santaella, 2023).

Prensky (2001) foi um dos primeiros autores a chamar atenção para essa ruptura, ao introduzir o conceito de “nativos digitais”, sugerindo que esses sujeitos desenvolvem estilos cognitivos distintos, alinhados à interatividade e à linguagem multimodal. Selwyn (2016), por outro lado, relativizou a abrangência do conceito, alertando para o risco de generalizações simplificadoras, mas reconhece a eclosão de práticas culturais digitais que passam a moldar as demandas da juventude. Diante disso, modelos pedagógicos centrados na transmissão expositiva do conhecimento passam a ser questionados em sua adequação e concepção didático-pedagógica no que se refere ao perfil do público escolar contemporâneo (Moran, 2015; Bacich; Moran, 2018; Kenski, 2012).

Moran (2021), por sua vez, defende que a escola precisa assumir uma postura aberta, flexível e dialógica, incorporando metodologias ativas, aprendizagem colaborativa e o uso crítico das TDICs como elementos estruturantes do processo educativo. O distanciamento geracional, entretanto, não se limita à dimensão técnica do uso das tecnologias, mas envolve, também, concepções distintas sobre tempo, autoridade, autoria e formas de participação no ambiente escolar (Belloni, 2022; Bacich; Holanda, 2020).

Quando esse descompasso não é reconhecido e enfrentado de forma reflexiva, há uma tendência a gerar tensões no cotidiano escolar, afetando o engajamento dos estudantes e a efetividade das práticas pedagógicas. Compreender a educação na era digital, portanto, implica reconhecer que a integração das tecnologias deve vir acompanhada de uma revisão epistemológica do fazer docente. Além de dominar ferramentas, o professor passa a assumir o papel de mediador, curador de informações e facilitador de aprendizagens significativas, sem abrir mão da formação crítica, ética e cidadã dos estudantes (Freire; Guedes, 2023).

2.2 Metodologias de Ensino: entre a tradição e as TDICs

A evolução das metodologias de ensino acompanha, historicamente, as transformações sociais, científicas e tecnológicas. Durante grande parte do século XX, predominou o modelo tradicional, caracterizado pela centralidade do professor, pelo método expositivo e pela valorização da memorização como principal estratégia de aprendizagem. Recursos como o quadro e o giz tornaram-se símbolos desse modelo, ainda presente em muitas instituições.

Embora o ensino tradicional seja frequentemente caracterizado pela centralidade da

exposição oral e pela condução do processo de ensino pelo professor, tal caracterização não deve ser confundida com uma concepção de aprendizagem necessariamente passiva. A aula expositiva, quando planejada e conduzida de forma intencional, envolve constante mediação pedagógica e busca por uma prática dialógica, na medida em que o professor organiza a sequência lógica dos conteúdos, identifica dificuldades de compreensão, reformula explicações e estabelece conexões entre conceitos previamente apresentados. Nesse sentido, o diálogo não se restringe à quantidade de intervenções verbais dos estudantes, mas manifesta-se também na forma como o docente interpreta as necessidades da turma e reorganiza continuamente sua prática. Essa compreensão aproxima-se da perspectiva de Libâneo (2013), para quem a atuação docente permanece um elemento estruturante do processo educativo. A exposição sistematizada do conhecimento não constitui um fim em si mesma, mas um meio de favorecer a apropriação progressiva dos conceitos científicos, sobretudo quando estes apresentam elevado grau de abstração, como ocorre na Citologia.

A partir das primeiras décadas do século XXI, as TDICs surgem como potenciais mediadoras do processo de ensino-aprendizagem, ao possibilitarem o uso de animações, simulações, modelos tridimensionais e microscopia virtual. Esses recursos favorecem, por exemplo, a visualização audiovisual de fenômenos complexos e contribuem para a construção de significados consistentes. Sob a perspectiva da aprendizagem significativa, tais ferramentas podem funcionar como organizadores da prática docente, conectando conhecimentos já existentes a novos conceitos (Ausubel, 2003; Moreira, 2020). Para Moran (2021), o uso pedagógico das tecnologias amplia as possibilidades de personalização da aprendizagem, respeitando ritmos, interesses e estilos cognitivos diversos. De modo semelhante, Kenski (2022) destaca que, quando integradas de forma planejada ao currículo, as tecnologias potencializam práticas colaborativas e autorais, favorecendo o protagonismo discente.

Entretanto, o uso das TDICs não garante, por si só, inovação pedagógica. A adoção acrítica ou meramente instrumental dessas tecnologias pode resultar em práticas superficiais, marcadas pelo consumo rápido de informações e pela fragmentação do conhecimento (Selwyn, 2016; Valente; Almeida, 2022). Sua efetividade permanece condicionada à intencionalidade pedagógica, ao planejamento didático e, sobretudo, à qualidade da mediação realizada pelo professor.

Nesse contexto, a incorporação das tecnologias não deve ser compreendida como alternativa capaz de suprir dificuldades estruturais relacionadas à formação docente. Recursos digitais ampliam possibilidades de representação, comunicação e interação, mas não substituem o domínio conceitual, a capacidade de organização do conteúdo ou a sensibilidade pedagógica necessária para interpretar as dificuldades apresentadas pelos estudantes ao longo da aula. Portanto, a contraposição

entre ensino tradicional e metodologias mediadas por tecnologias não deve ser compreendida como oposição entre passividade e atividade, mas entre diferentes formas de mediação do conhecimento. A integração entre metodologias tradicionais e TDICs deve ocorrer de maneira complementar, reconhecendo que diferentes estratégias podem apresentar desempenhos distintos conforme os objetivos de aprendizagem, o perfil dos estudantes e a natureza do conteúdo trabalhado.

2.3 Psicometria e diferenças individuais na aprendizagem

A forma como os estudantes respondem aos estímulos tecnológicos não é homogênea. Diferenças cognitivas, emocionais e comportamentais influenciam diretamente na eficácia das TDICs no processo de aprendizagem. A psicometria oferece ferramentas fundamentais para compreender essas variações individuais (Urbina, 2014; Primi, 2022).

A literatura em psicologia cognitiva indica que ambientes digitais exigem elevados níveis de autonomia, autorregulação e capacidade de processamento simultâneo de informações (Paas; Renneberg; Van Merriënboer, 2020). Neste estudo, a análise das diferenças individuais concentra-se em dois eixos: Inteligência Fluida e traços de personalidade, à luz do modelo dos Cinco Grandes Fatores.

A Inteligência Fluida, avaliada por meio do Teste de Raciocínio Indutivo, refere-se à capacidade de resolver problemas novos e identificar padrões independentemente de conhecimentos prévios. Estudantes com níveis mais elevados tendem a lidar melhor com ambientes digitais complexos, enquanto aqueles com níveis mais baixos são mais suscetíveis à sobrecarga cognitiva (Sweller; Ayres; Kalyuga, 2011).

No que diz respeito à personalidade, estudos baseados no modelo dos Cinco Grandes Fatores indicam que o traço de Socialização pode produzir efeitos distintos em contextos digitais. Alunos mais introvertidos, por exemplo, tendem a apresentar melhor desempenho em atividades individuais mediadas por tecnologia, enquanto estudantes altamente sociáveis podem experimentar desmotivação em ambientes excessivamente isolados (Corrêa; Flores-Mendoza, 2021; OECD, 2023).

Além disso, o Neuroticismo tem sido associado à ansiedade tecnológica, afetando negativamente a concentração e a percepção de autoeficácia acadêmica. Esses achados reforçam que a eficácia das TDICs não depende apenas da qualidade dos recursos, mas da interação entre tecnologia, prática docente e perfil cognitivo-emocional dos estudantes. Reconhecer essas diferenças permite fundamentar práticas pedagógicas mais inclusivas, capazes de equilibrar

aprendizagem e segurança cognitiva, promovendo um processo mais equitativo e significativo.

No presente trabalho, avaliamos as diferenças na efetividade de ensino considerando tanto a metodologia proposta quanto as eventuais distorções no processo de aprendizado entre indivíduos distintos, sob o ponto de vista cognitivo e de personalidade. Considerando a relação entre tais fatores e critérios, o estudo visa lançar luz sobre um tema escasso de evidências científicas até o momento.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A metodologia desta pesquisa estruturou-se em duas frentes complementares: o uso de tecnologias e a avaliação psicopedagógica. A abordagem adotada foi de natureza quantitativa, com objetivo de compreender o desempenho acadêmico e as percepções dos estudantes envolvidos no processo de ensino-aprendizagem de Citologia.

3.1 Sujeitos da pesquisa e desenho experimental

A pesquisa foi realizada com estudantes do 2º ano do Ensino Médio de uma escola pública em Governador Valadares, Minas Gerais. A amostragem, de natureza não probabilística, foi definida por conveniência e julgamento, estruturando-se em um desenho quase-experimental¹ com a divisão dos participantes em dois grupos distintos:

- a) **Grupo A (Controle):** Submetido ao ensino tradicional, caracterizado por aulas expositivas e utilização de recursos tecnológicos limitados.
- b) **Grupo B (Experimental):** Submetido a metodologias mediadas por TDICs, com ênfase no uso de vídeos e animações autorais desenvolvidos nesta pesquisa (Silva, 2026).

A intervenção tecnológica foi realizada por meio do produto educacional desenvolvido no âmbito da pesquisa, constituído por um vídeo didático animado com 12 minutos e 18 segundos de duração, elaborado especificamente para abordar a distinção morfológica e funcional entre células eucariontes e procariontes. O recurso foi construído a partir de uma sequência didática que

¹ O termo quase-experimento foi cunhado e formalizado pelos psicólogos norte-americanos Donald T. Campbell e Julian C. Stanley, em 1963; enquanto um experimento verdadeiro randomiza sujeitos, o quase-experimento utiliza grupos pré-existentes ou situações naturais onde o tratamento ocorre, tentando controlar outras variáveis estatisticamente ou através do desenho do estudo.

contemplava o levantamento de conhecimentos prévios, a contextualização do conteúdo e seu desenvolvimento conceitual sistematizado (Silva, 2026).

Para assegurar o rigor científico e a validade interna do estudo, o desenho experimental buscou a equivalência instrucional. Ambas as intervenções foram conduzidas a partir de um roteiro de estudo rigorosamente idêntico, garantindo que o conteúdo, a sequência conceitual e o nível de aprofundamento teórico fossem os mesmos para os dois grupos. Com objetivo de minimizar vieses metodológicos, evitou-se a inclusão de explicações complementares ou exemplos adicionais que não estivessem previstos no roteiro original, assegurando que as variações no desempenho pudessem ser atribuídas predominantemente à mudança do método de ensino.

A comparabilidade entre os grupos foi reforçada pela análise da motivação discente, fundamentada nas perspectivas de Valente (2014) sobre a integração tecnológica. Além disso, a percepção e o engajamento foram monitorados por meio de observação sistemática, orientada por indicadores como atenção, participação oral, formulação de questionamentos e interação entre pares.

Complementarmente, a fim de neutralizar variáveis individuais que poderiam interferir nos resultados, o desenho experimental integrou os perfis de personalidade (BFP) e inteligência (TRI) dos estudantes. Essa estratégia permitiu correlacionar o método de ensino não apenas com a nota final, mas com características biopsicológicas de cada discente, identificando quais perfis são mais receptivos ao modelo tradicional ou ao mediado por TDICs.

3.2 Instrumentos de coleta de dados

A coleta de dados utilizou uma combinação de instrumentos para capturar diferentes dimensões do processo de ensino-aprendizagem:

- a) **Questionários de Percepção:** Desenvolvidos com base em Kenski (2012) e Moran (2015), avaliaram compreensão, interesse e engajamento. Possuíram uma seção objetiva (definições de células e identificação de organelas) e uma subjetiva (clareza da apresentação e dificuldades encontradas), sendo aplicados antes e imediatamente após as aulas;
- b) **Observação Direta (Sistema de Flanders):** O pesquisador acompanhou as aulas utilizando um roteiro estruturado baseado em Flanders (1970). Interações verbais, períodos de silêncio ou confusão foram registrados em intervalos de 3 segundos, classificados em dez categorias em uma tabela de dupla entrada;
- c) **Variáveis Psicométricas:** Para o pareamento, utilizou-se o Teste Rápido de Inteligência

(TRI) (Primi, 2022) e a Bateria Fatorial de Personalidade (BFP) (Nunes; Hutz, 2007), devidamente administrados por profissional de Psicologia;

- d) **Testes de Desempenho Acadêmico:** Para a mensuração do nível de aprendizagem, foram elaborados instrumentos fundamentados nos critérios da Taxonomia de Objetivos Educacionais de Bloom. O teste foi estruturado com 10 questões inspiradas no formato e na matriz de referência do Exame Nacional do Ensino Médio (Enem). O instrumento contemplou questões de diferentes níveis de complexidade, abrangendo processos cognitivos relacionados à recordação, à compreensão e à análise. Dessa forma, buscou-se avaliar não apenas a identificação de estruturas celulares, mas também a capacidade de estabelecer relações entre morfologia, funções e organização celular.

3.3 Instrumentos de avaliação psicológica

Para compreender o perfil cognitivo e comportamental dos estudantes, foram utilizados dois instrumentos validados pelo Conselho Federal de Psicologia (CFP), administrados por profissional habilitado:

- a) **Bateria Fatorial de Personalidade (BFP):** Baseado no modelo dos Big Five (Cinco Grandes Fatores), este teste mapeia cinco dimensões da personalidade humana:
- *Abertura a Experiências:* Essencial para medir a receptividade a novos métodos (como TDICs);
 - *Realização (Conscienciosidade):* Indica o grau de organização e empenho do aluno;
 - *Extroversão:* Avalia o nível de comunicação e interação social em sala;
 - *Amabilidade:* Reflete a cooperação e confiança no processo pedagógico;
 - *Neuroticismo:* Mede a instabilidade emocional e a vulnerabilidade ao estresse em situações de prova.
- b) **Teste Rápido de Inteligência (TRI):** Avalia a capacidade de raciocínio lógico e a eficiência cognitiva através de duas métricas:
- *Capacidade de Raciocínio (Pontuação):* Mede a habilidade de solucionar problemas e adquirir novos conhecimentos;
 - *Tempo de Reação (Velocidade de Processamento):* Mede a agilidade mental. No contexto das TDICs, é crucial identificar se a rapidez na troca de estímulos visuais das animações favorece alunos com maior agilidade cognitiva.

3.4 Categorização das variáveis para análise de influência

Para permitir uma análise qualitativa e visual da influência dos perfis individuais no aprendizado, os dados contínuos foram transformados em variáveis categóricas seguindo critérios técnicos normativos:

- a) **Dimensões da BFP (Score *Z*):** Classificadas em cinco níveis de intensidade: *Muito Baixo* ($Z < -1,0$), *Baixo* ($-1,0 \leq Z < -0,5$), *Médio* ($-0,5 \leq Z < +0,5$), *Alto* ($+0,5 \leq Z < +1,0$) e *Muito Alto* ($Z \geq +1,0$);
- b) **Inteligência - TRI (Percentil *P*):** A Pontuação (Capacidade) foi classificada em: *Inferior* ($P < 25$), *Médio* ($25 \leq P < 75$), *Médio Superior* ($75 \leq P < 90$) e *Superior* ($P \geq 90$). O Tempo de Reação (Agilidade) seguiu a lógica inversa de eficiência mental, onde valores de *Z* negativos indicam maior rapidez de resposta: *Superior* ($P < 25$), *Médio Superior* ($25 \leq P < 75$), *Médio* ($75 \leq P < 90$) e *Superior* ($P \geq 90$);
- c) **Impacto Pedagógico (Diferença de Notas *Dif*):** A variável que representa a diferença entre a nota dos alunos do Grupo B (Experimental; TDIC) e o Grupo A (Controle; Tradicional) também foi categorizada em: *Piora Acentuada* ($Dif < -3,0$), *Piora Discreta* ($-3,0 \leq Dif < -1,0$), *Estabilidade* ($-1,0 \leq Dif < +1,0$), *Melhora Discreta* ($+1,0 \leq Dif < +3,0$) e *Melhora Acentuada* ($Dif \geq +3,0$).

3.5 Aspectos éticos

A pesquisa foi submetida à apreciação do Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Juiz de Fora (CEP/UFJF), sob o CAAE nº 90365125.4.0000.5147, tendo sido aprovada por meio do Parecer nº 7.858.627.

4 COMPARAÇÃO DE EFETIVIDADE ENTRE ABORDAGENS TRADICIONAIS E TECNOLÓGICAS NO ENSINO DE BIOLOGIA

4.1 O papel das variáveis individuais e emocionais: uma perspectiva analítica

Um dos diferenciais centrais deste estudo reside na premissa de que a tecnologia não

impacta o corpo discente de maneira uniforme. Para além da eficácia pedagógica do vídeo ou da exposição dialogada, considera-se que o processo de ensino-aprendizagem é atravessado por um “filtro” individual, composto por características cognitivas e traços de personalidade.

Nesse sentido, a análise dos dados coletados via TRI (Inteligência Fluida) e BFP (Personalidade) permite investigar como diferentes perfis de estudantes interagem com as TDICs. Ao longo das próximas seções deste capítulo, serão exploradas correlações que buscam responder, por exemplo, se a Abertura a Experiências facilitou a transição para o suporte digital ou se alunos com maior Extroversão sentiram-se desmotivados pelo caráter individualizado da ferramenta audiovisual, conforme sugerem as bases de Nunes e Hutz (2007).

Outro ponto refere-se à Inteligência Fluida. Investigou-se se uma maior capacidade de resolução de novos problemas permitiu que alguns estudantes superassem com maior agilidade eventuais “barreiras técnicas” - como interfaces de software ou instabilidades de conexão -, mantendo o foco no conteúdo de Citologia. Em contrapartida, variáveis como o Neuroticismo podem ter atuado como moderadoras negativas, gerando ansiedade frente à autonomia exigida pelo recurso tecnológico.

Portanto, os resultados que serão apresentados nas sessões subsequentes não se limitam a comparar médias de acertos, mas buscam revelar como o sucesso de uma estratégia digital depende, fundamentalmente, da sua articulação com as características singulares de quem aprende (Valente, 2014). Esses aspectos reforçam que a eficácia de uma estratégia pedagógica não depende exclusivamente da qualidade técnica do recurso utilizado (Moran, 2015). Mesmo um material cuidadosamente elaborado pode produzir efeitos distintos quando interage com estudantes que apresentam diferentes repertórios cognitivos, formas de processamento da informação e níveis de autonomia para organizar a própria aprendizagem. Assim, os resultados desta pesquisa devem ser interpretados considerando simultaneamente as características do recurso didático, da mediação docente e dos próprios estudantes.

4.2 O perfil dos grupos de pesquisa

A amostra foi composta por 13 alunos na Turma A (Tradicional) e 15 alunos na Turma B (TDIC), totalizando 28 participantes após as exclusões por ausência em instrumentos. No que tange à idade, a Turma A (n=13) apresentou média de 17,4 anos (DP = 2,77), refletindo maior heterogeneidade etária em relação à Turma B (n=15), com média de 16,5 anos (DP = 0,51). Essa

discrepância na Turma A é influenciada pela presença de estudantes em faixas etárias distintas do padrão regular da série, o que pode impactar a maturidade e o repertório prévio de conhecimentos (Libâneo, 2013).

O Quadro 1 detalha a caracterização psicométrica e cognitiva dos estudantes, utilizando o Teste Exato de Fisher para aferir a significância estatística das distribuições entre os grupos.

Quadro 1 - Perfil comparativo de personalidade e cognição entre as turmas

Variável Psicométrica	Metodologia de Ensino			p-valor ¹
	Total (n = 28)	Grupo A (n = 13)	Grupo B (n = 15)	
Neuroticismo				0.081
<i>Médio</i>	7 (25%)	2 (15%)	5 (33%)	
<i>Alto</i>	6 (21%)	1 (7.7%)	5 (33%)	
<i>Muito Alto</i>	15 (54%)	10 (77%)	5 (33%)	
Extroversão				0.10
<i>Muito Baixo</i>	4 (14%)	2 (15%)	2 (13%)	
<i>Baixo</i>	3 (11%)	3 (23%)	0 (0%)	
<i>Médio</i>	16 (57%)	8 (62%)	8 (53%)	
<i>Alto</i>	2 (7.1%)	0 (0%)	2 (13%)	
<i>Muito Alto</i>	3 (11%)	0 (0%)	3 (20%)	
Socialização				> 0.9
<i>Muito Baixo</i>	9 (32%)	4 (31%)	5 (33%)	
<i>Baixo</i>	6 (21%)	3 (23%)	3 (20%)	
<i>Médio</i>	13 (46%)	6 (46%)	7 (47%)	
Realização				0.4
<i>Muito Baixo</i>	4 (14%)	2 (15%)	2 (13%)	
<i>Baixo</i>	6 (21%)	1 (7.7%)	5 (33%)	
<i>Médio</i>	16 (57%)	9 (69%)	7 (47%)	

<i>Alto</i>	2 (7.1%)	1 (7.7%)	1 (6.7%)	
Abertura				0.047
<i>Muito Baixo</i>	3 (11%)	1 (7.7%)	2 (13%)	
<i>Baixo</i>	4 (14%)	3 (23%)	1 (6.7%)	
<i>Médio</i>	7 (25%)	6 (46%)	1 (6.7%)	
<i>Alto</i>	9 (32%)	2 (15%)	7 (47%)	
<i>Muito Alto</i>	5 (18%)	1 (7.7%)	4 (27%)	
Inteligência (Capacidade)				0.9
<i>Médio</i>	13 (46%)	5 (38%)	8 (53%)	
<i>Médio Superior</i>	4 (14%)	2 (15%)	2 (13%)	
<i>Inferior</i>	11 (39%)	6 (46%)	5 (33%)	
Agilidade (Reação)				>0.9
<i>Médio Superior</i>	1 (3.6%)	0 (0%)	1 (6.7%)	
<i>Superior</i>	27 (96%)	13 (100%)	14 (93%)	
¹ Fisher's exact test.				

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da pesquisa, 2026.

4.2.1 Análise das variáveis cognitivas e da personalidade

Quanto ao perfil de inteligência fluida (TRI), as turmas apresentaram distribuições diversificadas, mas sem diferença estatística significativa ($p = 0,9$). Contudo, observa-se uma sutil vantagem cognitiva na Turma B, com 66% dos alunos situados nos níveis “Médio” ou “Superior”, contra 53% da Turma A. Essa capacidade de processar informações novas é um preditor relevante para a adaptação a ferramentas digitais.

A maior distinção entre os grupos manifestou-se na dimensão Abertura a Experiências ($p = 0,047$). A Turma B apresentou uma concentração de 74% de alunos nos níveis “Alto” ou “Muito Alto”, enquanto a Turma A teve 69% da amostra nos níveis “Baixo” ou “Médio”. Conforme Valente (2014), a abertura é um traço facilitador para a exploração de novos ambientes de

aprendizagem, sugerindo que o grupo mediado por TDICs possuía, de partida, uma predisposição comportamental favorável aos recursos tecnológicos.

Ademais, o Neuroticismo na Turma A (77%, em nível “Muito Alto”) aponta para uma tendência a maior ansiedade e instabilidade emocional frente a avaliações, o que pode mascarar o potencial real de aprendizagem quando o aluno é retirado de sua zona de conforto tradicional (Nunes; Hutz, 2007).

4.2.2 Desempenho bruto e o Risco do viés pedagógico

Ao analisarmos as notas brutas dos alunos (sem pareamento), a Turma A apresentou um rendimento notavelmente elevado e homogêneo, com predominância de notas 10,0 e média próxima a 9,0. Em contraste, a Turma B exibiu um desempenho mais heterogêneo, com média inferior, próxima a 5,8, e notas variando drasticamente: de 1,75 a 8,75.

A interpretação dos dados brutos indica que o ensino tradicional apresentou maior desempenho, embora ainda não seja possível afirmar em que medida esse resultado decorre exclusivamente da metodologia empregada, uma vez que os grupos possuíam perfis distintos de personalidade e cognição. Dessa forma, a aplicação do pareamento ótimo torna-se indispensável para reduzir a influência dessas variáveis intervenientes e produzir uma comparação metodologicamente mais consistente.

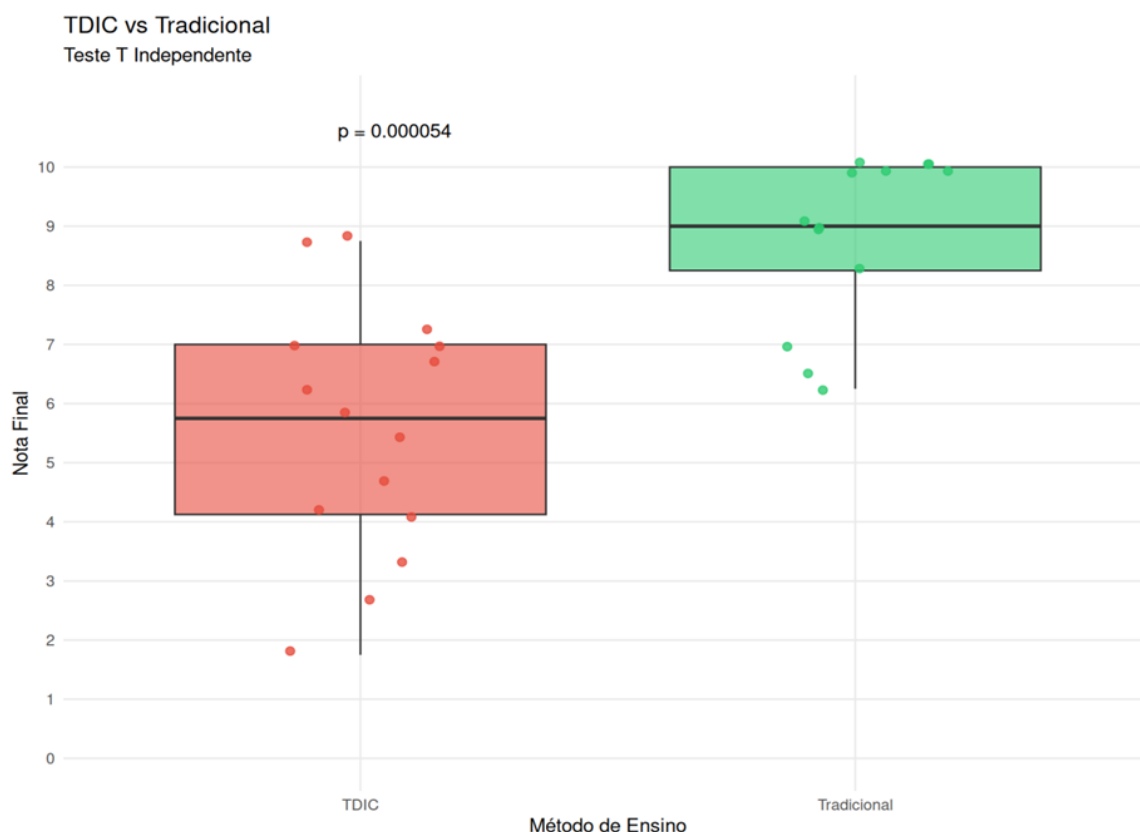
4.3 Análise dos resultados de desempenho e eficácia da intervenção

Inicialmente, procedeu-se à análise dos dados brutos de desempenho, sem a aplicação dos critérios de pareamento psicométrico. Esta etapa é fundamental para demonstrar como uma leitura superficial dos indicadores educacionais pode induzir a conclusões precipitadas.

A Figura 1 ilustra o panorama geral das notas, comparando o desempenho final dos alunos de ambos os grupos antes de qualquer ajuste metodológico por variáveis individuais. Em uma análise visual e descritiva, os dados sugerem uma superioridade do método tradicional, que apresenta uma mediana de acertos significativamente mais alta (9,0) e uma consistência notável entre os estudantes. Por outro lado, o grupo mediado por TDICs exibe uma média inferior (5,8) e uma dispersão alarmante, sugerindo que a tecnologia não foi favorável a um aprendizado significativo de grande parte da turma. De fato, haveria sustentação estatística para tal concepção,

visto que o valor de $p = 0,000054$ indica uma diferença estatisticamente significativa entre as médias dos grupos.

Figura 1 - Diagramas de caixa (*Boxplots*) para comparação de desempenho acadêmico bruto, sem pareamento



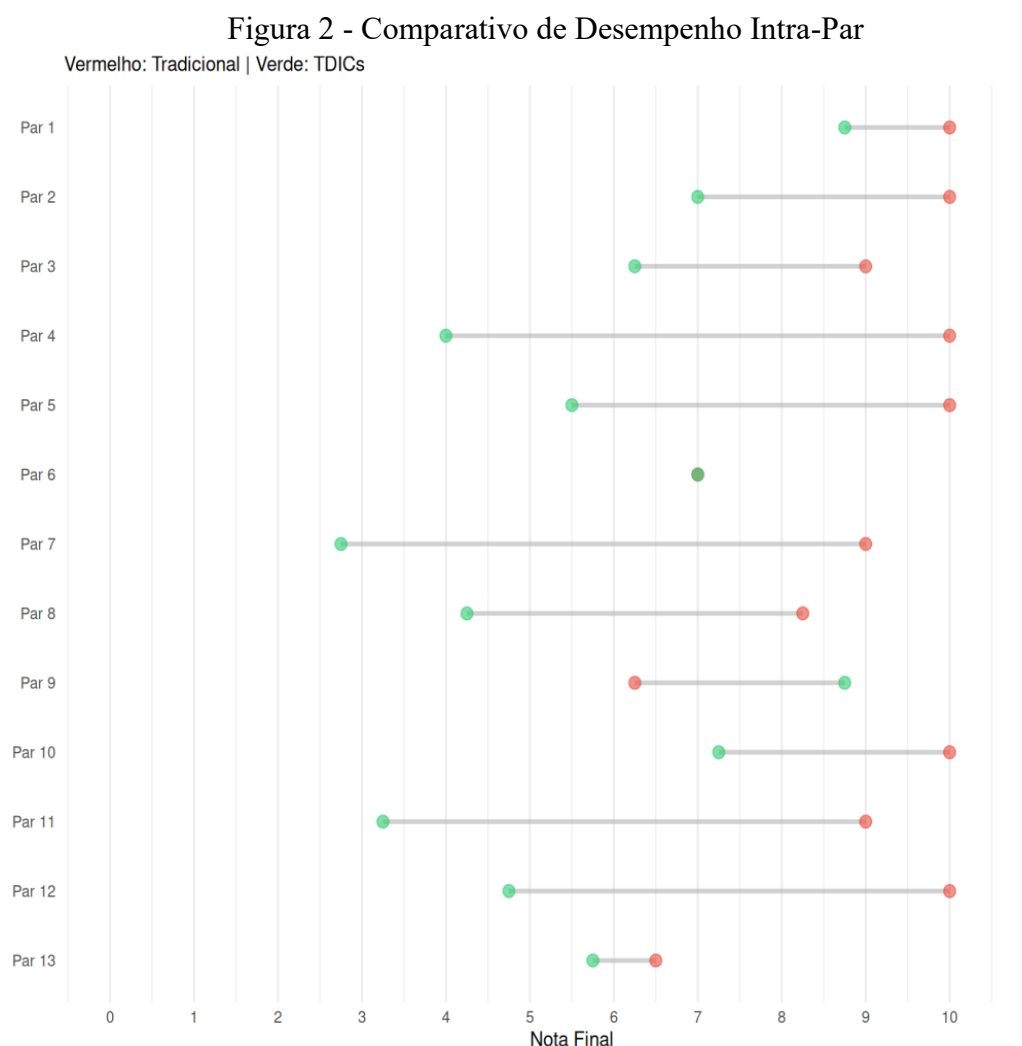
Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da pesquisa, 2026.

Os resultados apresentados na Figura 1 devem ser inicialmente considerados em sua literalidade. Nesta investigação, o grupo submetido ao ensino tradicional apresentou desempenho acadêmico superior ao grupo que utilizou o recurso audiovisual. Essa diferença mostrou-se estatisticamente significativa e constitui um resultado que não pode ser desconsiderado na interpretação dos dados.

Entretanto, reconhecer a superioridade do método tradicional não implica concluir que recursos tecnológicos sejam pedagogicamente inadequados ou destituídos de potencial educativo. O resultado evidencia, antes, que a simples incorporação de tecnologias ao processo de ensino não garante melhoria automática da aprendizagem (Moran, 2015). A eficácia de qualquer estratégia permanece condicionada ao modo como o conhecimento é organizado e apropriado pelos estudantes (Libâneo, 2013).

Os dados brutos indicam que, nas condições específicas investigadas, a mediação docente realizada por meio da aula expositiva mostrou-se mais eficaz para promover a aprendizagem dos conteúdos avaliados. A questão central desloca-se, portanto, da defesa de uma metodologia em detrimento da outra para a compreensão das condições em que cada forma de mediação contribui, de maneira mais consistente, para a aprendizagem.

Após o controle das covariáveis por meio do pareamento ótimo, os grupos foram equalizados para permitir uma comparação mais equalizada. O gráfico de Dumbbell (Figura 2) ilustra as diferenças de desempenho dentro de cada par, onde cada linha representa dois alunos (um de cada turma) com perfis cognitivos e de personalidade equivalentes. A visualização revela que, na maioria dos pares, o ponto vermelho (Tradicional) situa-se à direita do ponto verde (TDICs), indicando que, mesmo com perfis psicológicos similares, o método tradicional tendeu a gerar notas brutas superiores nesta amostra específica, uma vez mais.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da pesquisa, 2026.

Um aspecto particularmente relevante para refletir sobre os dados produzidos refere-se à natureza da mediação realizada durante a aula expositiva. Diferentemente do recurso audiovisual, cuja sequência permanece previamente definida, a exposição conduzida pelo professor caracteriza-se por constante reorganização das explicações, retomada de conceitos, esclarecimento de dúvidas e adaptação do ritmo de ensino conforme as reações observadas na turma. Essa flexibilidade permite que dificuldades de compreensão sejam enfrentadas imediatamente durante o desenvolvimento da aula, favorecendo a construção gradual das relações conceituais (Flanders, 1970).

Os resultados também convidam a uma reflexão acerca do papel desempenhado pelas representações visuais na aprendizagem científica. O recurso audiovisual amplia significativamente a capacidade de visualizar estruturas microscópicas, mas visualizar não equivale, necessariamente, a compreender. A imagem oferece uma representação organizada do fenômeno; já a construção conceitual exige que o estudante estabeleça relações entre diferentes ideias, organize explicações causais e integre novos conhecimentos à estrutura cognitiva previamente existente.

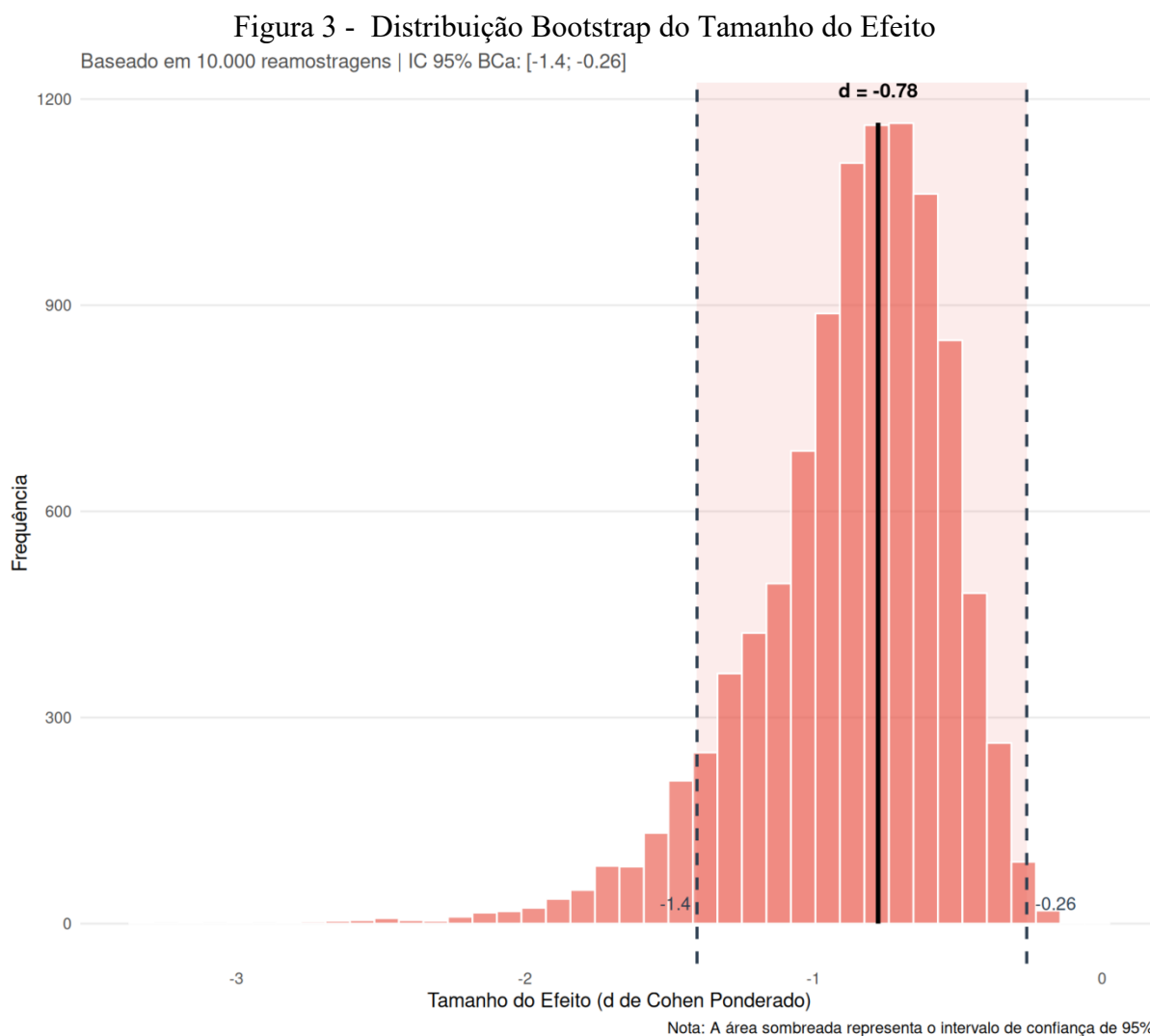
Nesse sentido, uma hipótese interpretativa consistente é que a facilidade proporcionada pela representação audiovisual possa reduzir parte do esforço intelectual envolvido na elaboração conceitual. Enquanto a aula expositiva exige que o estudante acompanhe sucessivas explicações, construa mentalmente relações e reorganize continuamente seus conhecimentos, o recurso visual apresenta parte dessas relações previamente estruturadas. Tal característica favorece a compreensão imediata, mas nem sempre conduz à mesma profundidade de elaboração conceitual exigida para o desempenho em avaliações escolares.

Para quantificar essa diferença com precisão, utilizou-se o Teste T Ponderado com reamostragem *Bootstrap*² (10.000 simulações), o qual indicou uma diferença média de -2,99 pontos entre os grupos ($p = 0,08$). Embora o p -valor de 0,08 não alcance o limiar clássico de significância estatística ($\alpha=0,05$), ele indica uma tendência marginal que não deve ser ignorada em estudos educacionais de pequena escala. Contudo, a análise da significância estatística deve ser complementada pela significância prática, expressa pelo Tamanho do Efeito (d de Cohen).

A Figura 3 ilustra a distribuição do d de Cohen ponderado, revelando um valor central de -0,78. De acordo com a classificação de Cohen (1988), este resultado configura um efeito de magnitude média, aproximando-se do limiar de um efeito grande ($\geq 0,80$). No contexto das ciências

² O método *Bootstrap* é uma técnica de reamostragem computacional intensiva, baseada na seleção com reposição de múltiplas subamostras a partir de um conjunto de dados original. A principal vantagem da técnica é a sua natureza não paramétrica, dispensando premissas sobre a distribuição dos dados (como a normalidade).

da educação, um efeito de $-0,78$ é considerado altamente expressivo, indicando que o método tradicional resultou em um desempenho acadêmico superior por uma margem que supera a variabilidade natural esperada entre estudantes (Hattie, 2009).



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da pesquisa, 2026.

Para garantir a confiabilidade desses achados, o intervalo de confiança ($-1,4$ a $-0,26$) foi calculado utilizando o método BCa (*Bias-Corrected and Accelerated*). Diferentemente dos intervalos convencionais, o BCa é uma técnica avançada de *bootstrapping* que corrige o viés e a assimetria da distribuição amostral, proporcionando limites mais precisos e robustos, especialmente em amostras de pequeno porte (Efron; Tibshirani, 1993). A área sombreada no gráfico representa esse intervalo, confirmando que a estimativa do tamanho do efeito não é fruto de distorções estatísticas, mas um reflexo fiel da tendência observada nos pares.

A superioridade do método tradicional ($d = -0,78$) sugere que o formato expositivo linear

pode oferecer uma ancoragem cognitiva mais imediata para conteúdos densos de Citologia. Diferentemente de conteúdos predominantemente procedimentais ou factuais, a compreensão da organização celular depende da construção de relações entre estruturas microscópicas, processos bioquímicos e funções biológicas. Trata-se de um conteúdo cuja aprendizagem exige elevado grau de abstração. Nessa perspectiva, a exposição oral conduzida pelo professor pode favorecer um processo contínuo de elaboração intelectual.

O recurso audiovisual, por sua vez, apresenta imagens cuidadosamente organizadas e representações visualmente sofisticadas dessas estruturas. Entretanto, a facilidade proporcionada pela visualização pode reduzir parte da atividade intelectual necessária para que o próprio estudante construa essas relações conceituais. Em outras palavras, reconhecer uma representação animada de uma organela não significa, necessariamente, compreender sua função, sua integração com os demais componentes celulares ou seu papel na dinâmica da célula.

Os resultados obtidos nesta pesquisa sugerem que, para conteúdos altamente abstratos, a mediação docente permanece desempenhando papel central na organização do pensamento científico. A tecnologia amplia possibilidades de representação, mas a construção do conceito continua dependendo da atividade intelectual do estudante e da condução pedagógica realizada pelo professor.

4.4 Determinantes psicométricos do efeito TDICs: uma análise por pares

Para compreender as nuances da intervenção, não basta saber qual método foi superior ou inferior na média; é preciso identificar quais características individuais favoreceram a melhora, a estabilidade ou a piora do rendimento em relação às TDICs e ao ensino tradicional, comparativamente. O Quadro 2 apresenta o cruzamento das variáveis categóricas com o efeito líquido da TDICs (diferença de nota intra-par).

Quadro 2 - Associação entre variáveis psicométricas e o efeito da TDIC no rendimento

Variável Psicométrica	Efeito da TDIC				p-valor ¹
	Total (n = 13)	Piora (n = 10)	Estabilidade (n = 2)	Melhora (n = 1)	
Neuroticismo					0.084
<i>Alto</i>	4 (31%)	3 (30%)	0 (0%)	1 (100%)	

<i>Médio</i>	4 (31%)	2 (20%)	2 (100%)	0 (0%)	
<i>Muito Alto</i>	5 (38%)	5 (50%)	0 (0%)	0 (0%)	
Extroversão					0.054
<i>Alto</i>	1 (7.7%)	1 (10%)	0 (0%)	0 (0%)	
<i>Médio</i>	8 (62%)	7 (70%)	0 (0%)	1 (100%)	
<i>Muito Alto</i>	2 (15%)	2 (20%)	0 (0%)	0 (0%)	
<i>Muito Baixo</i>	2 (15%)	0 (0%)	2 (100%)	0 (0%)	
Socialização					0.7
<i>Baixo</i>	2 (15%)	2 (20%)	0 (0%)	0 (0%)	
<i>Médio</i>	7 (54%)	6 (60%)	1 (50%)	0 (0%)	
<i>Muito Baixo</i>	4 (31%)	2 (20%)	1 (50%)	1 (100%)	
Realização					0.5
<i>Alto</i>	1 (7.7%)	1 (10%)	0 (0%)	0 (0%)	
<i>Baixo</i>	4 (31%)	4 (40%)	0 (0%)	0 (0%)	
<i>Médio</i>	7 (54%)	5 (50%)	1 (50%)	1 (100%)	
<i>Muito Baixo</i>	1 (7.7%)	0 (0%)	1 (50%)	0 (0%)	
Abertura					0.2
<i>Alto</i>	6 (46%)	5 (50%)	0 (0%)	1 (100%)	
<i>Baixo</i>	1 (7.7%)	1 (10%)	0 (0%)	0 (0%)	
<i>Médio</i>	1 (7.7%)	0 (0%)	1 (50%)	0 (0%)	
<i>Muito Alto</i>	3 (23%)	3 (30%)	0 (0%)	0 (0%)	
<i>Muito Baixo</i>	2 (15%)	1 (10%)	1 (50%)	0 (0%)	
Inteligência (Capacidade)					0.6
<i>Inferior</i>	5 (38%)	5 (50%)	0 (0%)	0 (0%)	
<i>Médio</i>	7 (54%)	4 (40%)	2 (100%)	1 (100%)	

<i>Médio Superior</i>	1 (7.7%)	1 (10%)	0 (0%)	0 (0%)	
Agilidade (Reação)					
<i>Superior</i>	13 (100%)	10 (100%)	2 (100%)	1 (100%)	
¹ Fisher's exact test; NA.					

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da pesquisa, 2026³.

A análise inferencial revela tendências comportamentais valiosas, com destaque para a Extroversão ($p = 0,054$) e o Neuroticismo ($p = 0,084$). Embora no rigor estatístico de 5% os valores sejam limítrofes, a distribuição das frequências permite discussões pedagógicas profundas:

- a) **O “Custo” da Extroversão:** Observa-se que 70% dos alunos que apresentaram “Piora” no rendimento via TDICs possuem nível “Médio” de Extroversão, e 20% possuem nível “Muito Alto”. Inversamente, todos os alunos com nível “Muito Baixo” (introvertidos) situaram-se na faixa de Estabilidade. Isso sugere que alunos com alta necessidade de interação social e estímulos externos podem ter percebido o vídeo didático como uma atividade isoladora, dispersando a atenção, enquanto alunos introvertidos beneficiaram-se da mediação tecnológica individualizada (Nunes; Hutz, 2007);
- b) **Vulnerabilidade e Neuroticismo:** Metade dos alunos (50%) que tiveram piora no desempenho via TDICs apresentavam nível “Muito Alto” de Neuroticismo. Indivíduos com esse perfil possuem maior reatividade ao estresse e à quebra de rotina. A transição para um método não convencional pode ter gerado uma ansiedade de performance que prejudicou a assimilação do conteúdo, validando a hipótese de que estudantes mais ansiosos necessitam de uma ancoragem docente mais presente e tradicional;
- c) **Inteligência e Autonomia:** Na dimensão de Capacidade (TRI), 100% dos alunos que obtiveram “Melhora” ou “Estabilidade” situavam-se no nível “Médio”. Por outro lado, 50% dos casos de “Piora” ocorreram em alunos de nível “Inferior”. Esse dado corrobora Sweller (1988), indicando que as TDICs impõem uma carga cognitiva de autogestão que pode sobrecarregar estudantes com menor fluidez cognitiva prévia, exigindo destes um esforço maior para operar a tecnologia do que para aprender Biologia Celular.

Ressalta-se que os resultados devem ser interpretados a partir de um contexto específico de

³ O efeito foi calculado pela diferença de nota entre o aluno do Grupo B (TDIC) e seu par no Grupo A (Tradicional).

investigação. As associações observadas entre as características individuais e o efeito da intervenção constituem tendências identificadas na amostra analisada, e não evidências suficientes para estabelecer relações gerais entre determinados perfis psicológicos e a eficácia das TDICs. Os valores de p observados para Extroversão (0,054) e Neuroticismo (0,084), embora próximos do limiar convencional adotado, não permitem afirmar a existência de associações estatisticamente significativas, por exemplo. Nesse sentido, a análise psicométrica contribui principalmente para indicar possíveis padrões de interação entre características individuais e formas de mediação pedagógica que poderão ser aprofundados em investigações posteriores.

Tendo em consideração tal ponderação, ressalta-se, a partir dos dados e da discussão: as TDICs não são um fator neutro. Ela interage com a personalidade dos estudantes: enquanto parece “proteger” ou manter o desempenho de alunos mais introvertidos e emocionalmente estáveis, pode atuar como um fator de distração ou estresse para os extrovertidos e ansiosos. Como defende Valente (2014), a eficácia da tecnologia na escola é, fundamentalmente, uma questão de ajuste fino entre o recurso e o perfil de quem aprende.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa teve como objetivo comparar o desempenho de estudantes submetidos a uma abordagem tradicional de ensino e a uma intervenção mediada por TDICs no ensino de Citologia, considerando simultaneamente diferenças individuais de inteligência e personalidade. Os resultados obtidos indicaram que, nas condições investigadas, a abordagem tradicional apresentou desempenho superior ao observado na intervenção mediada por TDICs.

Esse resultado constitui um achado relevante, sobretudo por contrariar a expectativa frequentemente presente na literatura de que a simples incorporação de recursos tecnológicos seja suficiente para promover melhores resultados de aprendizagem. A investigação evidencia que a utilização de tecnologias digitais deve ser compreendida como estratégia pedagógica cuja efetividade depende da qualidade da mediação docente, das características do conteúdo ensinado e das condições concretas de implementação.

A análise quantitativa comparativa, realizada após o pareamento ótimo (que equalizou os grupos em seus perfis psicométricos e cognitivos), indicou desempenho médio superior para a abordagem tradicional na avaliação aplicada imediatamente após a intervenção ($d = -0,78$). Esse resultado sugere que, no contexto específico investigado e diante do instrumento de avaliação utilizado, a instrução expositiva apresentou desempenho mais favorável que a intervenção

audiovisual. Não se trata, portanto, de evidência suficiente para afirmar uma superioridade geral do ensino tradicional, mas de um resultado circunscrito às condições metodológicas, ao conteúdo de Citologia e à forma de avaliação adotada nesta investigação.

A contribuição específica deste trabalho reside na identificação dos determinantes individuais que interagem com a tecnologia. Os dados sugerem que as TDICs não afetam a sala de aula de maneira uniforme. No campo cognitivo, estudantes com maior inteligência fluida demonstraram mais facilidade em navegar pelo ecossistema digital com autonomia. No espectro da personalidade, a distribuição dos dados sugere que alunos com menor nível de Extroversão (introvertidos) e maior estabilidade emocional se beneficiaram da mediação tecnológica individualizada. Em contrapartida, estudantes com níveis elevados de Neuroticismo apresentaram maior vulnerabilidade e ansiedade de performance ao serem retirados do modelo tradicional, refletindo em queda de rendimento.

Os resultados também permitem uma reflexão mais ampla acerca do papel das representações visuais na aprendizagem científica. Recursos audiovisuais ampliam significativamente a capacidade de visualizar estruturas e fenômenos que dificilmente poderiam ser observados em sala de aula. Entretanto, visualizar não equivale, necessariamente, a compreender. A aprendizagem conceitual exige elaboração intelectual, estabelecimento de relações entre diferentes ideias e reorganização da estrutura cognitiva do estudante. Nesse contexto, a aula expositiva mostrou-se particularmente eficiente para conduzir esse processo de elaboração conceitual durante o ensino de Citologia, o que sugere que o valor pedagógico das TDICs reside menos em sua capacidade de substituir práticas tradicionais e mais em sua integração criteriosa a elas.

Cabe reconhecer algumas limitações que circunscrevem a interpretação dos resultados. A investigação foi realizada com uma amostra não probabilística, composta por estudantes de uma escola pública e contou com 28 participantes válidos após as exclusões decorrentes das ausências registradas durante o período de realização da pesquisa. Além disso, a comparação envolveu duas turmas previamente constituídas e uma intervenção tecnológica específica, representada pelo produto audiovisual desenvolvido neste estudo. Os resultados de aprendizagem também foram aferidos por meio de avaliação aplicada após a intervenção, não permitindo inferir efeitos sobre a retenção dos conhecimentos em períodos mais prolongados. Essas características recomendam cautela na generalização dos achados para outros contextos escolares, conteúdos, públicos ou recursos tecnológicos.

As possibilidades de aplicação decorrentes destes resultados devem ser compreendidas como orientações situadas em um contexto de investigação limitado. O produto educacional pode

ser utilizado como recurso complementar em propostas de ensino híbrido ou de sala de aula invertida, desde que acompanhado de mediação docente e articulado aos objetivos de aprendizagem. Do mesmo modo, as estratégias de utilização de roteiros orientadores, pausas para discussão e momentos de socialização constituem possibilidades de organização pedagógica a serem adaptadas às características de cada turma.

Os resultados também apontam para possibilidades de aprofundamento da investigação. Estudos posteriores poderão ampliar a diversidade de participantes, envolver diferentes contextos escolares e comparar outros conteúdos e formas de utilização das TDICs, de modo a verificar em que medida os padrões identificados nesta pesquisa se mantêm. Também se mostra pertinente investigar intervenções em que o recurso audiovisual seja articulado a diferentes níveis de mediação docente, bem como acompanhar a aprendizagem em períodos posteriores à intervenção. Nesse sentido, a personalização do ensino mediado por tecnologias constitui uma perspectiva particularmente promissora, sobretudo diante das diferenças cognitivas e disposicionais identificadas entre os estudantes.

Em suma, o desafio contemporâneo não consiste em abandonar o quadro e o giz em favor das telas, mas em compreender em quais situações cada recurso favorece de maneira mais consistente a construção do conhecimento científico.

REFERÊNCIAS

- AUSUBEL, David P. **Aquisição e retenção de conhecimentos**: uma perspectiva cognitiva. Lisboa: Plátano, 2003.
- BACICH, Lilian; HOLANDA, Leandro. **Metodologias ativas para uma educação inovadora**. Porto Alegre: Penso, 2020.
- BACICH, Lilian; MORAN, José. **Metodologias ativas para uma educação inovadora**: uma abordagem teórico-prática. Porto Alegre: Penso, 2018.
- BELLONI, Maria Luiza. **Educação a distância**. 7. ed. Campinas: Autores Associados, 2022.
- BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília: MEC, 2017.
- CASTELLS, Manuel. **A sociedade em rede**. 25. ed. São Paulo: Paz e Terra, 2022.
- COHEN, Jacob. **Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences**. 2. ed. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 1988.
- CORRÊA, José Alexandre; FLORES-MENDOZA, Carmen. **Personalidade e desempenho acadêmico**. São Paulo: Casa do Psicólogo, 2021.

- EFRON, B.; TIBSHIRANI, R. J. **An Introduction to the Bootstrap**. New York: Chapman & Hall, 1993.
- FLANDERS, Ned A. **Analyzing teaching behavior**. Reading: Addison-Wesley, 1970.
- FREIRE, Paulo; GUEDES, Marco. **Educação e tecnologia: desafios contemporâneos**. São Paulo: Cortez, 2023.
- HATTIE, J. **Visible Learning: A Synthesis of Over 800 Meta-Analyses Relating to Achievement**. New York: Routledge, 2009.
- KENSKI, Vani Moreira. **Educação e tecnologias: o novo ritmo da informação**. Campinas: Papirus, 2012.
- KENSKI, Vani Moreira. **Tecnologias e ensino presencial e a distância**. 10. ed. Campinas: Papirus, 2022.
- LEITE, Bruno Silva. **Tecnologias digitais e aprendizagem**. São Paulo: Cortez, 2021.
- LIBÂNEO, J. C. **Didática**. 2. ed. São Paulo: Cortez, 2013.
- MCCRINDLE, Mark. **The ABC of XYZ: Understanding the Global Generations**. Sydney: UNSW Press, 2014.
- MENDES, André. **Educação digital e cognição**. São Paulo: Atlas, 2023.
- MOREIRA, Marco Antonio. **Aprendizagem significativa: teoria e prática**. São Paulo: Centauro, 2020.
- MORAN, J. M. **Mudando a educação com metodologias ativas**. Curitiba: Editores Associados, 2015.
- MORAN, José Manuel. **Metodologias ativas para uma aprendizagem mais profunda**. Porto Alegre: Penso, 2021.
- NUNES, C. H. S. S.; HUTZ, C. S. **Bateria Fatorial de Personalidade (BFP): manual técnico**. São Paulo: Casa do Psicólogo, 2007.
- OECD. **Education at a glance 2023**. Paris: OECD Publishing, 2023.
- PALFREY, John; GASSER, Urs. **Nascidos na era digital**. Porto Alegre: Artmed, 2011.
- PAAS, Fred; RENNENBERG, Bas; VAN MERRIËNBOER, Jeroen. **Cognitive load theory**. Educational Psychology Review, 2020.
- PRENSKY, Marc. Digital natives, digital immigrants. **On the Horizon**, v. 9, n. 5, p. 1–6, 2001.
- PRIMI, Ricardo. **Psicometria: fundamentos e aplicações**. São Paulo: Pearson, 2022.
- SANTAELLA, Lucia. **Cultura digital e educação**. São Paulo: Paulus, 2023.

SASSERON, Lúcia Helena. **Alfabetização científica e ensino de ciências**. São Paulo: Cortez, 2018.

SELWYN, Neil. **Education and technology**: key issues and debates. 2. ed. London: Bloomsbury, 2016.

SILVA, Gilson Bruno Souza. UFJF-GV - PROFBIO - A grande descoberta das células. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=FI07OFIKtPA>. Acesso em 23 fev. de 2026.

SWELLER, J. **Cognitive load during problem solving**: Effects on learning. Cognitive Science, v. 12, n. 2, p. 257-285, 1988.

SWELLER, John; AYRES, Paul; KALYUGA, Slava. **Cognitive load theory**. New York: Springer, 2011.

URBINA, Susana. **Fundamentos da testagem psicológica**. Porto Alegre: Artmed, 2014.

VALENTE, J. A. **O uso das tecnologias digitais na educação**: do aprender sobre a tecnologia ao aprender com a tecnologia. São Paulo: Cortez, 2014.

VALENTE, José Armando; ALMEIDA, Maria Elizabeth. **Tecnologias e currículo**. São Paulo: Loyola, 2022.

i Gilson Bruno Souza e Silva

Mestre em Ensino de Biologia | Universidade Federal de Juiz de Fora | Minas Gerais | Brasil

Professor de Biologia da rede pública de ensino em Governador Valadares, MG. Atua na área de recursos digitais voltados para o ensino de Biologia

E-mail: bruno.gilson@estudante.ufjf.br | ORCID: <https://orcid.org/0009-00008-5772-2131>

ii Márcio Luís Moreira de Souza

Doutor em Bioquímica e Biologia Molecular | Universidade Federal de Juiz de Fora | Minas Gerais | Brasil

Professor de Estatística da UFJF - campus GV. Atua como desenvolvedor Full-Stack autodidata, integrando tecnologias como Python, R, Supabase, n8n e IA Generativa para a criação de WebApps e APIs de alto nível. Coordena o grupo de pesquisa 'Machine Learning Governador Valadares', liderando projetos de automação e análise de Big Data. Possui vasta experiência em consultoria técnica para organismos internacionais e governamentais, incluindo UNICEF/ONU e o Governo de Minas Gerais (ProAlfa). Tem como foco a aplicação de Machine Learning e LLMs para a avaliação de impactos tecnológicos e sociais.

E-mail: marcio.luis@ufjf.br | ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3710-8184>

iii Roberto Queiroga Lautner

Doutor em Fisiologia | Universidade Federal de Juiz de Fora | Minas Gerais | Brasil

Professor de Fisiologia e Biofísica, UFJF - Campus GV. Atua como pesquisador em Fisiologia e Farmacologia Cardiovascular com foco em mecanismos de controle da pressão arterial, vitamina D e peptídeos vasoativos. É orientador do programa de mestrado profissional em ensino de Biologia (ProfBio) com a linha de pesquisa relacionada ao desenvolvimento de novos métodos didático-pedagógicos com o uso de TDICs.

E-mail: roberto.lautner@ufjf.br | ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8892-1055>

Disponibilidade de Dados

Os dados que sustentam os resultados deste estudo estão disponíveis no próprio artigo.

Agência de financiamento

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

Editores responsáveis

Guilherme José Pereira; Paola Gabriela da Costa Arantes

Como citar este artigo ABNT e APA:

SILVA, Gilson Bruno Souza e; SOUZA, Márcio Luís Moreira de; LAUTNER, Roberto Queiroga. Do giz às telas: comparação de efetividade entre abordagens tradicionais e tecnológicas no ensino de Biologia. *@rquivo Brasileiro de Educação*, Belo Horizonte, v. 14, n. 23, p. 221-249, 2026. DOI: <https://doi.org/10.5752/P.2318-7344.2026v14n23p221-249>

Silva, G. B. S., Souza, M. L. M., & Lautner, R. Q. (2026). Do giz às telas: comparação de efetividade entre abordagens tradicionais e tecnológicas no ensino de Biologia. *@rquivo Brasileiro de Educação*, 14(23), 221-249. DOI: <https://doi.org/10.5752/P.2318-7344.2026v14n23p221-249>