




Educação Disruptiva: Integrando o ChatGPT a uma Metodologia Ativa de Ensino de Ciências e Matemática

Juliana Anjos ^a

Maira Giovana de Souza ^a

Thaygra Severo Prodanov ^a

Agostinho Serrano ^a

^a Universidade Luterana do Brasil (ULBRA), PPGECIM, Canoas, RS, Brasil.

Recebido para publicação 10 nov. 2023. Aceito após revisão 18 mar. 2024

Editora designada: Claudia Lisete Oliveira Groenwald

RESUMO

Contexto: A integração da Inteligência Artificial (IA), exemplificada pelo advento do ChatGPT e outros Grandes Modelos de Linguagem em dezembro de 2022, tem demonstrado potencial transformador nas práticas educacionais em Ciências e Matemática. Essa tecnologia oferece perspectivas de revolucionar métodos pedagógicos convencionais e diminuir disparidades socioeconômicas. Propõe-se um modelo de ensino que emprega ferramentas de IA Generativa em ambientes de aprendizado invertidos, permitindo aos estudantes se prepararem em casa através de simulações que servem como Mediação Sofotécnica. **Objetivos:** Apresentar uma metodologia ativa, onde o uso do ChatGPT em casa antecede e prepara o aprendizado em sala, aplicando a Teoria da Mediação Cognitiva em Rede. **Design:** Utilizou-se a Mediação Hiper-cultural com simulações desenvolvidas via ChatGPT, além de mediações decorrentes de experiências prévias dos estudantes ou integradas às atividades em sala. **Ambiente e Participantes:** Desenvolvida com estudantes do ensino médio, a pesquisa concentrou-se no currículo de Física, explorando conceitos de Luz e Teoria da Relatividade Geral. **Coleta e Análise de Dados:** Seguindo as ideias de Bachelard e Mortimer, criou-se o Perfil de Nível de Mediação Externa para visualizar as mediações mais eficazes na criação de imagens mentais. **Resultados:** Observou-se uma correlação significativa entre as imagens mentais e os gestos dos estudantes, sugerindo uma compreensão aprofundada dos conceitos abordados. **Conclusões:** A integração da IA com a Teoria da Mediação de Redes Cognitivas pode ajudar a resolver as limitações do ensino tradicional, considerando as características individuais dos alunos e promovendo o desenvolvimento de habilidades de modelagem e resolução de problemas.

Palavras-chave: ChatGPT; Metodologias Ativas; Mediação Sofotécnica; Teoria da Mediação Cognitiva em Rede; Ensino de Ciências e Matemática.

Autor cCorrespondente: Agostinho Serrano. Email: agostinho.serrano@gmail.com

Disruptive Education: Integrating ChatGPT into an Active Methodology for Teaching Sciences and Mathematics

ABSTRACT

Context: The integration of Artificial Intelligence (AI), marked by the advent of ChatGPT and other Large Language Models in December 2022, has demonstrated transformative potential in Science and Mathematics educational practices. This technology offers prospects to revolutionize conventional pedagogical methods and reduce socioeconomic disparities. A teaching model is proposed that employs Generative AI tools in flipped learning environments, allowing students to prepare at home through simulations that act as Sophotechnic Mediation. **Objectives:** An active methodology is presented where the use of ChatGPT at home precedes and prepares classroom learning, applying the Cognitive Networks Mediation Theory. **Design:** Hypercultural Mediation was utilized with simulations developed via ChatGPT, alongside mediations arising from students' previous experiences or integrated into classroom activities. **Environment and Participants:** Conducted with high school students, the research focused on the Physics curriculum, exploring concepts of Light and General Relativity Theory. **Data Collection and Analysis:** Following the ideas of Bachelard and Mortimer, the External Mediation Level Profile was created to visualize the most effective mediations for creating mental images. **Results:** A significant correlation was observed between the mental images formed and the students' gestures, suggesting a deepened understanding of the discussed concepts. **Conclusions:** Integrating AI with the Cognitive Networks Mediation Theory can help address traditional teaching limitations by considering individual student characteristics and fostering the development of modeling and problem-solving skills.

Keywords: ChatGPT; Active Methodologies; Sophotechnic Mediation; Cognitive Mediation Theory in Network; Science and Mathematics Education.

INTRODUÇÃO

A jornada da tecnologia educacional tem sido uma evolução contínua, influenciando profundamente os métodos e práticas de ensino e aprendizagem. A lousa em sala de aula, uma ferramenta que tem sido usada há séculos, marcou uma das primeiras instâncias de tecnologia facilitando ambientes de sala de aula interativos. A introdução do projetor de transparências na década de 1880 reforçou ainda mais esse ambiente interativo, possibilitando a aprendizagem em grupo e fomentando uma abordagem pedagógica mais dinâmica. A narrativa da tecnologia educacional tomou um rumo revolucionário na década de 1960 e 1970 com o advento dos

primeiros computadores. Isso marcou o início da era digital na educação, abrindo caminho para a aprendizagem assistida por computador. O desenvolvimento e a proliferação dos microcomputadores na década de 1980 tornaram essa forma de aprendizagem mais acessível e a preços acessíveis. A década de 1990 marcou o surgimento transformador da internet, que facilitou a rápida disseminação de informações, o desenvolvimento de plataformas de aprendizagem online e possibilitou a colaboração remota.

O surgimento de sistemas de gestão de aprendizagem, como o Moodle, revolucionou a forma como os educadores criavam e gerenciavam cursos, administravam avaliações e rastreavam o progresso dos alunos. A internet também democratizou o acesso à educação por meio da criação de Cursos Online Massivos Abertos (MOOCs), promovendo uma cultura de aprendizagem ao longo da vida. O século 21 abriu uma era de dispositivos móveis, mídias sociais e computação em nuvem, revolucionando ainda mais o cenário educacional. A crescente ubiquidade de smartphones e tablets permitiu que alunos e professores acessassem recursos de aprendizagem a qualquer hora, em qualquer lugar. Esses dispositivos facilitaram o desenvolvimento de tecnologias de aprendizagem móvel (*m-learning*) e de aprendizagem adaptativa, proporcionando experiências de aprendizagem mais personalizadas e envolventes (Crompton, 2013).

O uso das mídias sociais na educação não apenas transformou a comunicação e a colaboração entre alunos, professores e instituições (Manca & Ranieri, 2016), mas também preparou o terreno para a revolução tecnológica que tem remodelado a educação nos últimos anos. Trata-se do advento da Inteligência Artificial (IA), com a criação sistemas computacionais que podem imitar e automatizar funções que geralmente requerem inteligência humana, permitindo que esses sistemas aprendam com dados, se adaptem a novas situações e tomem decisões com base em informações disponíveis. Além da integração do *machine learning* (ML), que se concentra no desenvolvimento de algoritmos e modelos computacionais que permitem aos sistemas aprenderem e melhorarem a partir de dados.

Esses avanços levaram ao desenvolvimento de sistemas de tutoria inteligente e assistentes virtuais, que podem apoiar a aprendizagem personalizada e melhorar os resultados educacionais (Woolf, 2009). No entanto, o mundo não estava preparado para a mudança de paradigma que ocorreu em dezembro de 2022. O lançamento do ChatGPT marcou o início da era dos Modelos de Linguagem de Grande Escala (LLMs). Esse desenvolvimento foi surpreendente, demonstrando o potencial transformador

da IA na educação e preparando o cenário para um novo capítulo na evolução da tecnologia educacional. Esses modelos de alta complexidade possuem a capacidade notável de interpretar e responder com precisão a *prompts* linguísticos complexos, uma capacidade que contribuiu para o rápido aumento da popularidade do ChatGPT, que se tornou uma potência no campo do processamento de linguagem natural em janeiro de 2023.

Embora o ChatGPT não seja o primeiro nem o único *chatbot* de IA capaz de processamento de linguagem natural acessível por meio de um navegador da web (Garg, 2023), sua adoção e expansão rápida foram notáveis (Hu, 2023). Uma grande parte desse sucesso pode ser atribuída à sua capacidade de gerar texto de alta qualidade, semelhante ao humano (OpenAI, 2022). Essa capacidade é tão avançada que o modelo passou com sucesso em exames profissionais de alto nível em medicina (Kung et al., 2022), direito (Choi et al., 2023) e negócios (Terwiesch, 2023). Além disso, demonstrou a capacidade de realizar determinadas tarefas cognitivas tão bem quanto, ou até melhor do que, os participantes humanos (Binz & Shulz, 2023), mesmo pontuando em um nível de QI elevado em testes de QI (Rozado, 2022; Webb et al., 2022).

No entanto, a história da Educação Tecnológica (EdTech) não está isenta de conflitos. Apesar dos potenciais múltiplos benefícios oferecidos pela integração contínua da Tecnologia da Informação (TI) na educação, existem perigos e potenciais consequências negativas que devem ser reconhecidos. Uma das preocupações mais prementes é o crescente abismo digital entre países e comunidades ricos e desfavorecidos (Mattos & Chagas, 2008). O acesso limitado à tecnologia moderna, infraestrutura e treinamento pode exacerbar as disparidades educacionais existentes, uma vez que os alunos em regiões desfavorecidas não conseguem se beneficiar plenamente dos últimos avanços da EdTech. Essa desigualdade pode perpetuar um ciclo de pobreza e dificultar a mobilidade social, aprofundando ainda mais o fosso socioeconômico.

De fato, a integração da TI na educação tem sido um tema constante de debate e análise, com o potencial de revolucionar as abordagens pedagógicas convencionais e ajudar a superar as disparidades socioeconômicas, se descobirmos como fazê-lo. Neste contexto, o presente artigo tem como objetivo propor um modelo de ensino que incorpore de forma eficaz ferramentas de IA Gerativa em ambientes de sala de aula, com ênfase na educação em Ciências e Matemática. Bem como explanar os benefícios do uso dessas ferramentas no ensino e aprendizagem.

A TEORIA DA MEDIAÇÃO COGNITIVA EM REDES (TMC)

A TMC (Souza et al., 2012) é uma teoria contextualista e construtivista que tem como objetivo fornecer uma abordagem ampla da cognição humana, baseando-se em um conjunto de cinco pressupostos básicos sobre a cognição humana e o processamento de dados:

[...] 1) A espécie humana tem como vantagem evolutiva mais importante a capacidade de gerar, armazenar, recuperar, manipular e aplicar o conhecimento de diversas formas; 2) A cognição humana é efetivamente o resultado de alguma forma de processamento de informações; 3) Sozinho, o cérebro humano constitui um recurso finito e, em última análise, insatisfatório de processamento de informações; 4) Praticamente qualquer sistema físico organizado é capaz de executar operações lógicas até certo ponto; 5) Os seres humanos complementam seu processamento cerebral de informações interagindo com sistemas físicos externos organizados. (Souza et al., 2012, p.2).

A TMC propõe que a cognição é um fenômeno de processamento de informações e que as tecnologias digitais têm impacto no pensamento humano. Isso se deve às limitações inerentes do cérebro para processar todas as informações disponíveis, o que resulta em grande parte do processamento ocorrendo fora do cérebro. Esta teoria elucidada como as operações cognitivas interagem com aspectos como o ambiente físico, os coletivos sociais, as culturas, os equipamentos, as máquinas e muito mais, aumentando assim suas próprias capacidades de processamento de informações.

Por exemplo, quando um computador ou celular é utilizado para processar informações ou realizar cálculos mais complexos, este é empregado como um mecanismo externo de Mediação. A fim de utilizar tais dispositivos de forma efetiva, torna-se necessário estabelecer mecanismos internos que possibilitem a manipulação desses dispositivos e a compreensão não somente de sua operação (fornecendo entradas), mas também das informações por eles fornecidas (compreendendo saídas). Esses mecanismos internos viabilizam o uso dos mencionados mecanismos externos e atuam, do ponto de vista cognitivo, como máquinas virtuais (ou drivers, estabelecendo uma analogia com a computação), os quais se desenvolvem por meio da interação entre o indivíduo e as estruturas externas, visando complementar o processamento da informação. Ou seja, para que a Mediação ocorra, é crucial que a pessoa tenha

internalizado os padrões operacionais e os movimentos das estruturas externas utilizadas.

Assim, os estudantes criam drivers tanto ao aprender a manusear a interface de um programa, quanto durante o desenvolvimento das atividades ou mesmo em suas experiências cotidianas ou escolares anteriores. Além disso, eles oferecem novas funcionalidades cognitivas que transcendem o processamento de informações de apoio, introduzindo ideias lógicas, esquemas e habilidades universalmente aplicáveis com base nos padrões operacionais que foram internalizados. Como resultado, o ambiente de uma pessoa não é apenas uma coleção inativa de componentes, mas sim estruturas físicas e socioculturais que formam ecossistemas cognitivos dinamicamente interativos.

A TMC teoriza que os humanos passaram por uma evolução cognitiva, com diferentes formas de Mediação surgindo em uma sequência em camadas, com cada nova camada incorporando as anteriores. A Tabela 1 descreve as quatro primeiras etapas:

Table 1

A evolução de quatro formas de Mediação na ordem de sua emergência

Forma de Mediação	Mecanismos Externos	Mecanismos Internos
Psicofísica	Física do objeto e do ambiente	Esquemas sensoriais e motores, conhecimento do comportamento de sistemas físicos cotidianos
Social	Comportamento em grupo	Regras e padrões de comportamentos e interações coletivas
Cultural	Ferramentas, sistemas simbólicos, rituais, tradições e práticas	Conhecimento formal e informal de conteúdos e funcionamento sociocultural

Por fim, a TMC define que a cognição e a aprendizagem por processamento extracerebral são realizadas em diferentes níveis de Mediação, interagindo com diferentes ferramentas externas de processamento, presentes no que pode ser agrupado em quatro diferentes níveis de Mediação, conforme a Tabela 1.

Cada um desses níveis de Mediação marca um período histórico específico no desenvolvimento da humanidade e, do ponto de vista evolutivo, representam ganhos cognitivos progressivos que se refletem naturalmente na aprendizagem. É por meio do uso de mecanismos externos presentes nessas diferentes Mediações que os alunos irão desenvolver representações mentais e drivers diferenciados, que podem facilitar a aprendizagem, que para nós se traduz na construção de representações específicas que potencializam a capacidade de resolução de problemas do aluno, bem como o ganho insights sobre um determinado conceito. Investigações anteriores sugerem a contribuição teórica da TMC por apresentar a Mediação e o Processamento Extracerebral da Informação como mecanismos que auxiliam no processamento cognitivo ao desenvolver atividades com o átomo de Bohr (Freitas, 2019) ou na compreensão de conceitos fundamentais da Mecânica Quântica (Trevisan, 2018).

O QUE SE ESPERA QUE ACONTEÇA COM O SURGIMENTO DA IA GENERATIVA?

A Inteligência Artificial Generativa, ou IA Generativa, é um subcampo da Inteligência Artificial (IA) que se concentra na criação de sistemas capazes de gerar dados, conteúdo ou saídas que se assemelham ao que um humano poderia produzir. Em vez de simplesmente processar informações ou tomar decisões com base em dados existentes, a IA generativa é projetada para criar dados ou recursos de forma autônoma, por meio de linguagem natural, tendo como exemplo o ChatGPT (OpenAI, 2022, 2023a).

Referindo-se à Tabela 1, temos até agora quatro níveis diferentes de mediação. Com o surgimento da IA Generativa, propõe-se que um novo nível de Mediação vai emergir, e as razões pelas quais isso engloba uma nova

Mediação e não é simplesmente uma continuação da Mediação Hipercultural são discutidas em Souza, Andrade Neto e Roazzi (2023). A Mediação Sofotécnica requer o desenvolvimento de mecanismos internos que incluem o domínio dos elementos técnicos da interação com a tecnologia, os esquemas lógicos e conceitos que refletem o funcionamento básico da IA, a consciência dos vieses, pressupostos e falácias lógicas do conteúdo gerado pela IA, e o entendimento da estrutura e dinâmica das comunidades, mercados e outras estruturas socioculturais construídas em torno das IAs.

Este novo nível de mediação, Mediação Sofotécnica, levará a potenciais novos impactos cognitivos, que incluem:

- **Habilidades de Resolução de Problemas Melhoradas:** Adquirir uma compreensão de como a IA funciona pode reforçar as capacidades gerais de resolução de problemas, incentivando uma abordagem organizada ao pensamento e a capacidade de decompor problemas complexos.
- **Alfabetização Digital Melhorada:** Tornar-se proficiente nos aspectos técnicos da interação com a IA pode se transferir para outros instrumentos digitais, fortalecendo a alfabetização digital geral e a capacidade de interagir com vários softwares e sistemas.
- **Pensamento Crítico e Avaliação:** Estar ciente de vieses na curadoria de conteúdo, suposições ocultas e incorreções lógicas pode cultivar uma mentalidade crítica relevante para várias fontes de informação e situações, encorajando as pessoas a examinar e avaliar a autenticidade e confiabilidade das informações que encontram.
- **Adaptabilidade e Flexibilidade:** À medida que os indivíduos cultivam Mecanismos Internos para interagir com uma variedade de sistemas e ferramentas de IA, eles podem se tornar mais versáteis e adaptáveis quando confrontados com novas tecnologias ou sistemas, capacitando-os a aprender e se adaptar rapidamente em situações desconhecidas.
- **Comunicação e Colaboração:** Compreender a estrutura e a dinâmica fundamentais de comunidades, mercados e constructos socioculturais centrados em IAs pode aumentar as habilidades de comunicação e colaboração dentro e fora desses contextos relacionados à IA. Isso poderia melhorar as capacidades de

networking e a capacidade de trabalhar de forma eficaz em grupos ou equipes diversas.

- **Criatividade:** A interação com IAs de linguagem natural tem o potencial de impulsionar a criatividade ao eliminar as barreiras da interface, tanto ao oferecer novos pontos de vista a partir da geração aleatória ("Temperatura") quanto porque os sistemas que produzem as respostas lógicas mais diretas exercem uma pressão para explorar possibilidades mais únicas, como foi observado anteriormente no contexto do jogo japonês Go por Shin et al. (2023).

Dado impacto causado na cognição pela interação com a Mediação Sofotécnica, esta pode ser uma ferramenta valiosa para melhorar o aprendizado dos estudantes e tornar a sala de aula mais interativa e colaborativa. No entanto, é necessário explorar mais a fundo como essa tecnologia pode ser integrada de forma eficaz em sala de aula e como os professores podem ser treinados para utilizá-la de forma adequada. Uma possibilidade se dá pelo uso combinado com Metodologias Ativas discutidas na próxima seção.

METODOLOGIAS ATIVAS PARA A INTEGRAÇÃO DE TECNOLOGIAS NO ENSINO DE CIÊNCIAS

O cenário da escola contemporânea apresenta um contraste entre um ensino tradicional e as constantes transformações da sociedade. Ao passo das mudanças econômicas, culturais e tecnológicas, ainda se observam aulas conteudistas à luz de metodologias tradicionais. Tratando-se especificamente do ensino de Ciências, este deve proporcionar a construção do saber científico, indo além da compreensão de transformações e processos. Para isso, deve interagir ativamente com o meio do estudante, exigindo um perfil docente atualizado. Nesse contexto, as metodologias ativas têm se destacado como uma abordagem eficaz para promover a participação ativa dos estudantes na construção de seu próprio conhecimento. Para Johnson (2014), as metodologias ativas consistem em diversas técnicas que objetivam promover o engajamento dos estudantes, alcançando-se uma aprendizagem significativa.

Diferentemente do modelo tradicional de ensino, em que o professor desempenha um papel central na transmissão de informações, as metodologias ativas colocam o estudante como protagonista de sua própria aprendizagem.

Ao encontro da criação de um ambiente mais favorável à aprendizagem, a utilização de metodologias de ativas possibilita a construção do conhecimento de forma que os estudantes se tornam sujeitos ativos em sala de aula, assim como há a ressignificação da prática docente (Berdel, 2011). Num contexto envolvendo metodologias ativas, deve haver um professor com uma postura investigativa, reconhecendo problemas e propondo soluções.

É fundamental que os estudantes reflitam sobre as atividades desenvolvidas, ao invés de apenas seguir as orientações do professor, pois o pensamento crítico pode estimular e qualificar a formação de futuros profissionais. A adoção de um modelo de ensino que empregue metodologias ativas modifica o processo educacional, onde o professor passa a atuar como um facilitador da aprendizagem (Mazur, 2015). Ainda, as metodologias ativas podem ser vistas como reinterpretações de modelos presentes em diversas teorias, procurando modos de potencializar a obtenção de conhecimentos.

As metodologias ativas incentivam os estudantes a explorar, investigar, questionar e construir conhecimento por meio de atividades práticas, como estudos de caso, simulações, experimentos, discussões em grupo e projetos. Além disso, as metodologias ativas promovem a colaboração entre os estudantes, desenvolvendo habilidades sociais e preparando-os para o trabalho em equipe. Uma característica importante das metodologias ativas é a contextualização do aprendizado. Isso significa relacionar os conteúdos estudados com situações do mundo real e as experiências dos estudantes. Por meio de estudos de caso, projetos práticos e aplicação do conhecimento em situações concretas, os estudantes são motivados a compreender a relevância e a aplicabilidade dos conceitos (Inayah et al., 2023).

Capone (2022) destaca outro aspecto fundamental das metodologias ativas: o feedback contínuo e formativo. Os estudantes recebem orientação e avaliação tanto dos professores quanto de seus pares, permitindo a reflexão sobre seu próprio processo de aprendizagem, identificando áreas de melhoria e aprimorando seu desempenho. Além disso, as atividades práticas e reflexivas promovem o desenvolvimento de habilidades cognitivas complexas, como pensamento crítico, análise, síntese e resolução de problemas. A aprendizagem significativa é facilitada, pois os estudantes são incentivados a relacionar o conhecimento teórico com a prática e aplicá-lo em contextos reais, ocasionando uma melhor retenção e transferência do conhecimento para situações futuras.

Para os professores, a adoção de metodologias ativas implica em desempenhar o papel de facilitadores do aprendizado, promovendo uma

relação de parceria com os estudantes. Isso permite explorar ações criativas e inovadoras, além de conseguir um feedback imediato sobre o progresso e o desempenho dos estudantes. No entanto, a implementação efetiva das metodologias ativas pode enfrentar desafios, como resistência à mudança, necessidade de tempo e recursos adequados, adaptação curricular e avaliação dos resultados alcançados. Superar esses desafios requer apoio institucional, investimento na formação e capacitação dos professores, criação de espaços adequados e uma cultura educacional que valorize a inovação e a melhoria contínua (Capone, 2022).

Nessa perspectiva, muitos são os recursos que podem fomentar a usabilidade das metodologias ativas, como as Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação (TDIC). Pode-se utilizar simulações computacionais em sala de aula para reproduzir fenômenos, por exemplo, a fim de resolver questões presentes em situações do cotidiano. Tem-se também o uso de jogos digitais como o *Kahoot* em uma abordagem eficaz de gamificação no processo de aprendizado, tornando o ensino mais envolvente e interativo por meio de desafios interativos e competições educacionais. A seguir, discute-se a integração de tecnologias digitais no ensino de Ciências, apontando-se algumas abordagens pedagógicas relevantes.

TECNOLOGIAS DIGITAIS DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO (TDIC) NO ENSINO DE CIÊNCIAS

O avanço das Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação (TDIC) tem desempenhado um papel significativo no campo da educação, incluindo o ensino de Ciências. As TDIC proporcionam aos estudantes acesso a recursos educacionais interativos, como vídeos, simulações, animações e jogos, tornando o aprendizado de conceitos científicos abstratos mais tangíveis e envolventes. Além disso, essas tecnologias facilitam a comunicação e colaboração entre estudantes, professores e demais profissionais da Educação, por meio de fóruns de discussão, *blogs*, *wikis* e outras ferramentas colaborativas (Freitas, Silva, & Cardoso, 2020).

As TDIC também permitem a experimentação virtual, por meio de simulações e laboratórios virtuais, que permitem aos estudantes conduzir experimentos, explorar fenômenos científicos e analisar dados sem a necessidade de equipamentos físicos especializados (Akpan & Andre, 2020). Isso proporciona maior flexibilidade e acesso a experiências práticas em ambientes controlados. Além disso, as TDIC podem ser usadas para

personalizar o aprendizado, atendendo às necessidades individuais dos estudantes. Por meio de plataformas de aprendizagem adaptativa, os estudantes recebem atividades e materiais que correspondem ao seu nível de conhecimento e ritmo de aprendizado, proporcionando uma experiência educacional mais individualizada.

O uso de TDIC no ensino de Ciências também aumenta o engajamento e a motivação dos estudantes. Recursos multimídia, gamificação e elementos interativos tornam o aprendizado mais atrativo e envolvente, incentivando os estudantes a explorarem conceitos científicos de maneira ativa e autônoma. Diversas abordagens pedagógicas se destacam no uso de TDIC no ensino de Ciências. Como a Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP), que envolve a resolução de problemas do mundo real como ponto central do processo de ensino-aprendizagem (Chistyakov et al., 2023). As TDIC são usadas nessa metodologia para fornecer informações relevantes, facilitar a pesquisa e a colaboração, e ajudar na criação de soluções para problemas científicos complexos.

A abordagem denominada Aprendizagem Móvel, tem-se o uso de dispositivos móveis, como smartphones e tablets, para fornecer acesso a recursos educacionais e atividades de aprendizado. Isso permite que os estudantes acessem materiais educacionais em qualquer lugar e a qualquer momento, promovendo a aprendizagem fora da sala de aula (So & Kim, 2018). Destacam-se as tecnologias de Realidade Virtual (RV) e a Realidade Aumentada (RA), que oferecem oportunidades imersivas para o ensino de Ciências. Utilizando dispositivos de RV ou aplicativos de RA em smartphones, os estudantes podem explorar ambientes virtuais ou sobrepor informações virtuais ao ambiente real, permitindo a visualização de fenômenos científicos complexos, como efeitos da Teoria da Relatividade e aspectos da Mecânica e Química Quântica, e a interação com objetos virtuais em tempo real.

E na abordagem conhecida como Design Instrucional, as necessidades e interesses dos estudantes são o foco ao se projetar atividades de aprendizado. Aqui, as TDIC podem ser incorporadas para permitir que os estudantes criem projetos científicos personalizados, explorem tópicos de seu interesse e compartilhem seus resultados com uma audiência ampla, incentivando o pensamento crítico e a criatividade (Valente, Almeida, & Geraldini, 2018).

Diante das diversas possibilidades de ensino, Veiga (2006) afirma que o professor não pode mais apresentar uma didática estática, mas sim tornar-se

mentor e facilitador, intermediando o acesso do estudante à informação. Assim, cabendo ao docente aprimorar sua prática pedagógica, de forma a atender as necessidades dos estudantes, faz-se necessária uma sólida formação de professores.

METODOLOGIA

A Mediação Hipercultural foi aplicada por meio de simulações construídas com o apoio do ChatGPT, enquanto as demais Mediações foram utilizadas ou em sala de aula ou advieram de experiências prévias do educando.

A seguir, são apresentados exemplares de aplicação do Perfil de Nível de Mediação Externa, focalizados nas implicações para o Ensino de Física. O propósito subjacente às investigações consistiu na identificação das modalidades de mediação externa capazes de fomentar um amplo espectro de imagens mentais nos estudantes, no que tange aos conceitos de luz (Anjos, 2022) e relatividade especial (Souza, 2021).

Em ambas as investigações, após a fase de coleta de dados, foram conduzidas entrevistas semiestruturadas, as quais foram registradas em conformidade com o protocolo Report Aloud (Trevisan et al, 2019). Subsequentemente, essas entrevistas foram submetidas à técnica de Análise Gestual Descritiva, conforme proposta por Clement e Steinberg (2002), Monaghan e Clement (1999), bem como Stephens e Clement (2010, 2015). Esta análise qualitativa tem como finalidade a identificação de gestos descritivos manifestados pelos estudantes.

Tanto as manifestações verbais quanto gestuais foram analisadas de forma conjunta. Nesse sentido, buscou-se identificar os mecanismos externos empregados para a explicação de fenômenos específicos por meio da produção de imagens mentais.

RESULTADOS

No contexto do ensino de Física, o uso dos diferentes níveis de Mediação pode facilitar a aprendizagem de conceitos complexos de Física Moderna e Contemporânea, como a Teoria da Relatividade. Enquanto para alguns estudantes o uso de somente um tipo de Mediação pode ser suficiente para a compreensão de algum conceito, para outros, mais variações são

necessárias. Além disso, com base em resultados anteriores (Souza & Serrano, 2020; Souza, 2021) sabe-se que o uso combinado de diferentes níveis de Mediação pode facilitar o processo de aprendizagem da Relatividade.

Nesse sentido, serão apresentados aqui alguns recursos didáticos para a abordagem da Teoria da Relatividade Geral (TRG) por meio dos diferentes níveis de mediação. Todos os recursos foram utilizados com alunos de Ensino Médio, mas podem ser adaptados para o Ensino Fundamental. Focou-se aqui na representação do Princípio da Equivalência (PE) por meio das quatro Mediações. Trata-se do princípio que deu origem à TRG por Einstein, com o objetivo de incluir a gravidade em sua teoria. Esse princípio afirma que, localmente, não é possível diferenciar um campo gravitacional de um referencial acelerado. Um referencial inercial seria, portanto, equivalente à queda livre.

Mediação Psicofísica

Um recurso psicofísico bastante simples, consiste na demonstração do Princípio da Equivalência utilizando uma garrafa PET. Para isso, deve-se fazer um pequeno furo na parte inferior lateral de uma garrafa PET de 500 ml. Essa garrafa é preenchida com água – podendo utilizar corante colorido – e sua tampa é fechada. Sobe-se em uma escada e, ao abrir a tampa, a água começa a fluir pelo buraco. Ao largar essa garrafa, o jato de água para durante a queda (Figura 1), sendo possível demonstrar que a queda livre é equivalente à ausência de gravidade.

Esse experimento simples, trata-se de um recurso psicofísico com bastante potencial para ser usado em sala de aula. Além de utilizar materiais de baixo custo, utiliza elementos do cotidiano dos estudantes, com os quais estão familiarizados, para demonstrar um princípio fundamental para a TRG.

Uma analogia muito utilizada para abordagem da TRG consiste no modelo da malha do espaço-tempo, trazendo mais um exemplo de um recurso psicofísico. No trabalho de Postiglione e Angelis (2021) é descrito o processo de montagem de uma estrutura para essa demonstração. Em uma adaptação, pode-se utilizar um bambolê com seis pedaços de cano PVC (em torno de 1m) fixados a ele. Utilizando-se os canos para deixar de pé a estrutura, uma malha pode ser fixada no bambolê com prendedores de papel. Para representar os objetos de diferentes massas pode-se utilizar bolinhas de gude, bem como para observar a trajetória de objetos que se movem próximos a objetos massivos (Figura 2).

Figura 1

Experimento com garrafa PET para demonstração do PE



A TRG trouxe uma nova interpretação do que é a gravidade, sendo uma deformação no espaço-tempo causada por objetos massivos. Com esse modelo, é possível visualizar a deformação causada em uma malha pelas bolinhas de gude e como essa deformação é tanto maior quanto for quantidade de bolinhas utilizada, ou seja, a massa. Vale ressaltar que a malha deve ser bem esticada, para que seja necessária a utilização de muitas bolinhas para causar uma deformação significativa, assim como o tecido do espaço-tempo que é bastante rígido. Além disso, é importante salientar essa informação com os estudantes.

Após utilizar várias bolinhas para causar uma grande deformação na malha, é possível arremessar outras bolinhas na volta, demonstrando como suas trajetórias são curvadas devido à deformação. Pode-se arremessar também uma bolinha sozinha na malha, e comparar sua trajetória linear com essas trajetórias curvas da outra situação.

Figure 2

Estrutura do modelo da malha (esquerda) e alunos interagindo com o modelo (direita)



O modelo apresentado, trata-se de um recurso psicofísico de construção relativamente simples e barata, com potencial para utilização em sala de aula, desde que suas limitações sejam explicitadas e discutidas com os estudantes – representação de um Universo quadrimensional em apenas duas dimensões. A visualização de objetos que deformam a malha que representa o espaço-tempo é um recurso psicofísico de processamento externo que pode auxiliar os estudantes na construção de drivers que auxiliem na compreensão da Relatividade Geral.

Mediação Social

A Mediação Social se faz presente em todas as atividades de utilização das outras Mediações, por meio das interações entre os alunos e com os professores. No entanto, é importante promover atividades que tenham a colaboração entre os estudantes como foco. Portanto, destaca-se o desenvolvimento de atividades em pequenos grupos, principalmente a resolução de problemas. Podem ser utilizadas listas de exercícios, envolvendo questões conceituais, que estimulem a discussão entre os pares para encontrar a sua resposta.

Tratando-se do Princípio da Equivalência, uma questão que pode fomentar boas discussões entre os estudantes poderia ser: “Um grupo de pessoas foi colocado em uma nave com aceleração $a = g$. Considere que eles não sabem que estão em uma nave. Seria possível eles identificarem (por meio de algum tipo de experimento ou teste) que estão em movimento acelerado sem ter contato com o exterior da nave? Explique”. É importante estimular que os estudantes reflitam e exponham suas opiniões em relação à situação proposta. Em pequenos grupos, e com Mediação do professor, eles podem discutir questões nesse formato e refletir sobre a TRG por meio da Mediação Social (Figura 3).

Figure 3

Alunos discutindo questões conceituais em pequenos grupos



Diversas questões podem ser utilizadas nesse tipo de atividade. Pode tratar-se da deformação do espaço-tempo, estabelecendo uma conexão com a analogia da malha, já mencionada aqui, por meio do questionamento: “Considere a estrela Sirius, com uma massa de mais que o dobro da massa do Sol. Por que objetos próximos a ela descreveriam trajetórias curvas? Um feixe de luz que passe próximo a ela, seria curvado? Explique (podes usar texto, desenhos, diagramas)”. Assim, os estudantes podem discutir suas respostas e relacioná-las com outros recursos utilizados para tratar do mesmo fenômeno.

Mediação Cultural

Por meio da Mediação Cultural se utilizam elementos da cultura com os quais os estudantes provavelmente já tiveram contato em algum momento, seja por meio da televisão ou redes sociais. Tratando-se da TRG, tem-se o filme *Interestelar*, que é amplamente conhecido. Nesse sentido, podem ser utilizados trechos e cenas do filme para abordar tópicos da teoria.

Uma cena marcante do filme trata-se de quando os personagens visitam um planeta próximo de um buraco negro, o Gargântua. Enquanto para os tripulantes que descem ao planeta passam-se apenas algumas horas, para o que ficou aguardando-os na nave, assim como na Terra, passaram-se vários anos. Com essa cena é possível destacar o fenômeno da dilatação temporal gravitacional e como seus efeitos só podem ser observados na presença de objetos extremamente massivos, como o buraco negro em questão.

Além disso, podem ser utilizados também vídeos e imagens, como as recentes fotos de buracos negros que têm circulado na mídia, discutindo como elas corroboram a TRG. Outra opção consiste na utilização de artigos de divulgação científica, que podem ser lidos em pequenos grupos e discutidos, envolvendo juntamente a Mediação Social.

No tocante ao princípio da equivalência, podem ser utilizados vídeos de voos parabólicos que simulam a ausência de gravidade, como o *Zero-G Experience*. Um vídeo bastante famoso trata-se da experiência vivida pelo físico Stephen Hawking durante esse voo (Figura 4). É importante a discussão do funcionamento de tais simulações, onde, durante a descida do avião, se tem uma situação próxima à de queda livre em que, de acordo com o PE, os efeitos de um campo gravitacional não são percebidos. A utilização desses elementos culturais, com os quais os estudantes têm contato diariamente, pode auxiliá-los no processamento de informações durante a aprendizagem de novos conceitos, estabelecendo relações entre eles.

Figure 4

Voo parabólico (esquerda) e experiência vivida por Hawking (direita). (NE10, 2015; BBC News, 2018)



Mediação Hiper-cultural

Tratando-se da Mediação Hiper-cultural, existem diversas simulações computacionais de fácil manuseio disponíveis para livre acesso online. Para uma interação proveitosa com as simulações, é interessante que sejam utilizados roteiros que guiem os estudantes. Uma técnica que tem proporcionado bons resultados, trata-se da POE (predizer-observar-explicar) (Tao & Gunstone, 1999), onde são propostas situações em que os estudantes devem primeiro imaginar como aconteceriam, então observá-las na simulação e, por fim, refletir sobre o que imaginaram e observaram.

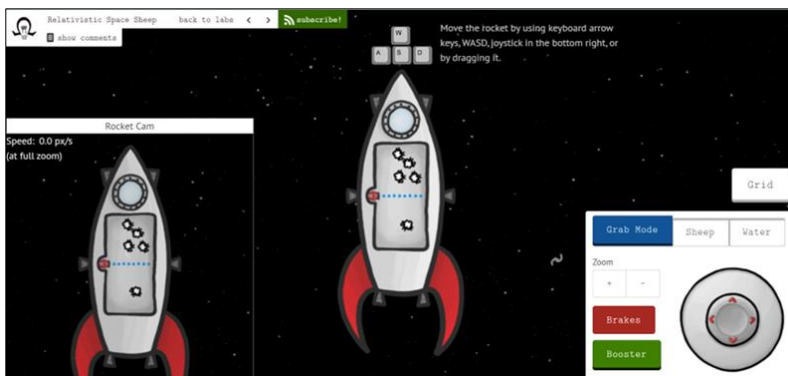
Evidentemente, para uma maior ampliação do processamento cognitivo dos estudantes, é recomendado que eles interajam diretamente com as simulações. No entanto, dada a realidade de muitas escolas brasileiras, é possível adaptar as atividades, utilizando as simulações por meio de um projetor de forma coletiva. Mesmo neste caso, pode-se utilizar a técnica POE para conduzir a atividade.

Demonstrando o princípio da equivalência, uma simulação de fácil utilização é a “*Relativistic Space Sheep*”, desenvolvida pela MinuteLabs.io (Figuras 5). Trata-se de uma nave com ovelhas flutuando dentro dela. Também há uma bomba de água arremessando gotas que atravessam a nave horizontalmente. Utilizando o teclado, ou os controles no canto inferior direito da tela, é possível acelerar a nave para cima, para baixo, para direita ou para a esquerda. Com a aceleração, é possível observar que os efeitos dela

para as ovelhas dentro da nave, são os mesmos de um campo gravitacional, demonstrando o Princípio da Equivalência.

Figure 5

Simulação “Relativistic Space Sheep”. (MinuteLabs, 2014)



Mediação Sofotécnica

Contemplando o uso de Inteligência Artificial Generativa, Mediação sofotécnica, em sala de aula, propõe-se uma atividade de uso conjunto da Bing AI e ChatGPT. Destaca-se que a interação direta e individual dos estudantes com estes recursos proporciona um processamento externo mais proveitoso das informações. No entanto, é possível adaptar a atividade conforme os recursos disponíveis, podendo dividir os alunos em duplas ou trios.

Tratando-se do princípio da equivalência, por meio de uma interação direta com o ChatGPT, os estudantes podem questioná-lo sobre este princípio, pedindo explicações e exemplos. O professor ou professora pode sugerir algumas perguntas norteadoras, mas os alunos ficam livres para formular os questionamentos com base em suas dúvidas individuais.

Após a interação com o ChatGPT, pode-se propor aos estudantes a geração de imagens com o uso da Bing AI (Figura 6). A partir de suas conclusões após a atividade anterior, é possível que eles construam uma descrição a partir do que passam a imaginar ao pensar no princípio da equivalência, e solicitem a Bing AI que gere uma imagem a partir dela. Após

a geração de imagens, os estudantes podem apresentá-las, explicando quais conceitos buscaram representar na construção delas.

Figure 6

Exemplos de imagens geradas por estudantes



É interessante que os estudantes interajam com a Bing AI, sugerindo modificações e aprimoramentos nas imagens que são geradas, a fim de se obter uma imagem mais próxima daquilo que imaginaram. Evidentemente, uma familiaridade com a ferramenta torna o seu uso mais proveitoso, nesse caso, cabe ao professor auxiliar os estudantes e orientá-los durante a atividade. Além disso, a atividade pode ser realizada em computadores ou smartphones, de acordo a disponibilidade de recursos.

Da necessidade de se utilizar as Mediações de forma Integrada

A construção de conceitos ocorre de forma integrada entre diversas Mediações, dentro da perspectiva da TMC (Souza et al, 2012), tais como experiências pessoais, interações sociais, estilo de educação, cultura, linguagem e avanços tecnológicos. É a interação dinâmica e multifacetada desses elementos que permite a construção e expansão do entendimento do mundo ao seu redor.

Em um ambiente de ensino, nota-se que um mesmo aluno pode apresentar múltiplas abordagens para resolver ou explicar questões relacionadas a um determinado conceito, as quais podem variar dependendo do contexto em que se encontram. Essas diferentes abordagens nem sempre são claramente definidas. A criação de significados distintos para um conceito específico na sala de aula está intimamente ligada às interpretações resultantes das relações entre o conteúdo apresentado e o aluno. Da mesma forma, as diversas experiências de vida dos alunos também contribuirão para uma variedade de perspectivas, influenciando, assim, as Mediações adotadas.

É natural que todos, ao resolver qualquer problema, utilizem não apenas uma, mas várias Mediações externas diferentes que se entrelaçam e compõem o repertório de imagens mentais e direcionadores que o indivíduo utiliza para resolver o problema. Conforme discutido na contribuição de Meggiolaro (2019), em que a autora sugere que os alunos usem vários níveis de Mediação ao relatar um único conceito, por exemplo:

Na discussão do vetor campo elétrico resultante, onde o aluno deve somar todos os vetores do campo elétrico individual produzidos por todas as mudanças, concluímos que os cinco alunos apontaram que o uso combinado do mecanismo externo de Mediação Social, cultural e hipercultural fornece subsídios para as representações e drivers adquiridos referentes aos cadernos, exercícios, aulas e simulação computacional no GeoGebra dos conceitos abordados. (Meggiolaro, 2019, p.153).

Assim como no estudo realizado por Meggiolaro (2019), durante as análises de outras pesquisas dentro do ensino de Física (Souza, 2021; Anjos, 2022), percebe-se que as imagens mentais que povoam a estrutura cognitiva do estudante são oriundas de diferentes níveis de Mediação (Psicofísica, Social, Cultural e/ou Hipercultural). Tomando emprestado de Vergnaud (1982) que argumentou que "uma situação não é apenas com um conceito, assim como um conceito não é formado pela resolução de uma única classe de problema", parece que uma única situação ou conceito é frequentemente processado cognitivamente por representações de múltiplos níveis de Mediação.

Ao observar a diversidade de imagens mentais dos diferentes mecanismos de processamento externo empregados por cada aluno ao estudar diferentes conceitos físicos, traçar-se a ferramenta de análise intitulada "Perfil de Nível de Mediação Externa" individualmente, para um dado conceito, que

indicaria quais níveis de Mediação são preferencialmente acessados pelo aluno, ao utilizar um conceito para resolver um problema específico. A ideia de criar um Perfil de Nível de Mediação Externa foi inspirada originalmente tanto nas construções de Bachelard (1985) quanto de Mortimer (1995), que estudam a problemática da resolução de problemas científicos com os Perfis Epistemológico e Conceitual, respectivamente. Para Bachelard (1991):

Diversas escolas filosóficas e posturas epistemológicas tomadas pelo sujeito ao construir o conceito de determinado conteúdo. Sendo que, uma única conduta filosófica não seria suficiente para expressar as diferentes formas de pensar quando se tenta apresentar e explicar um simples conceito (Bachelard, 1991).

Nas análises da investigação que estudo o conceito de luz (Anjos, 2022), notou-se, também, que as experiências anteriores dos estudantes interferiam no nível de Mediação utilizado. Segundo Mortimer (2000) “as ideias prévias dos estudantes desempenham um papel fundamental no processo de aprendizagem” (Mortimer, 2000).

Bachelard, G. (1985, 1991), em suas obras "O Novo Espírito Científico" (1985) e "A Filosofia do Não" (1991), apresenta a necessidade de demonstrar que diferentes filosofias podem estar presentes na mesma acepção de um conceito, mesmo que algumas delas sejam consideradas conscientemente inadequadas para caracterizar uma determinada noção do conhecimento científico. Bachelard (1966) expõe ideias relacionadas ao termo que ele denominou de "perfil epistemológico", o qual caracteriza as diversas escolas filosóficas e posturas epistemológicas dos sujeitos. Essa pluralidade representa diferentes formas de ver e representar a realidade, tanto para um indivíduo em relação a um conceito científico quanto para um mesmo conceito em diferentes contextos históricos.

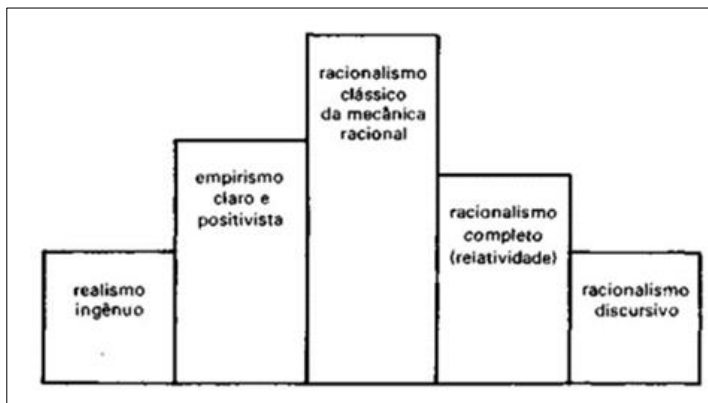
Bachelard propõe que os conceitos, em seu curso de desenvolvimento, estejam em certa medida ligados a determinados pontos de vista filosóficos (animista, realista, empirista, racionalista), dependendo de seu estágio de maturidade. Em outras palavras, um estudante pode apresentar diversas representações ou maneiras de perceber a realidade em relação a um conceito científico. As correntes filosóficas para cada estudante são traçadas com base na evidência do grau de importância expresso pela frequência de utilização efetiva dos conceitos trabalhados. Com base nesse perfil, inferências podem ser feitas para identificar as filosofias que se destacam no processo de definição de um conceito específico. Esse perfil epistemológico, de acordo

com Bachelard (1991, p.25), "deve sempre referir-se a um conceito designado, sendo válido apenas para um indivíduo particular que está sendo examinado em um estágio específico de sua cultura".

No livro "A Filosofia do Não" (1991), Bachelard apresenta suas ideias que culminam no termo cunhado como "perfil epistemológico", utilizando dois exemplos constituídos por construções gráficas. Esses exemplos permitem ao autor traçar e analisar seu próprio perfil epistemológico pessoal em relação à definição dos conceitos de massa (Figura 7) e energia (Figura 8).

Figure 7

Perfil epistemológico da noção pessoal de massa. (Bachelard, 1991, p. 2)

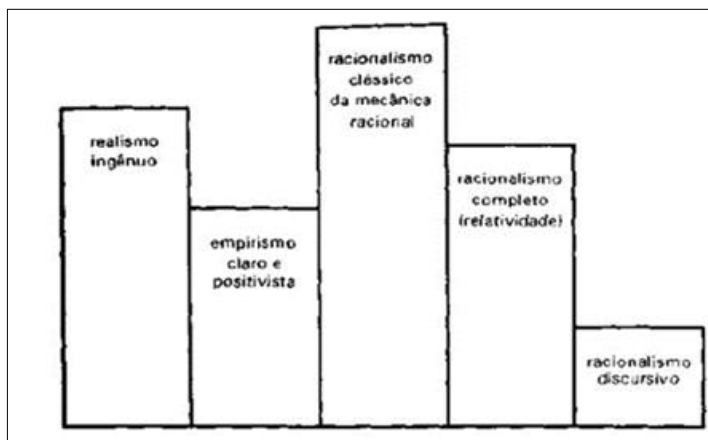


Ao apresentar os gráficos para seu perfil epistemológico acerca do conceito de massa e de energia, Bachelard não explica como obteve os valores para a frequência de utilização pessoal de cada noção. Apenas aponta a dificuldade de estabelecer estes valores, ao citar que:

[...] tentaremos então pôr grosseiramente em evidência a sua importância relativa colocando em abcissas as filosofias sucessivas e em ordenadas um valor que - se pudesse ser exato - mediria a frequência de utilização efetiva da noção, a importância relativa de nossas convicções. Com uma certa reserva relativamente a esta medida muito grosseira, obtemos então o nosso perfil epistemológico. (Bachelard, 1991, p.25)

Figure 8

Perfil epistemológico da noção pessoal de energia. (Bachelard, 1991, p. 27)



Trevisan e Serrano (2016) examinam a relação entre a Teoria da Mediação Cognitiva (TMC) e as ideias do filósofo Bachelard, com foco no estudo da produção do conhecimento científico. Os autores utilizam a TMC como uma estrutura teórica para analisar o impacto da Mediação por meio de ferramentas hiperculturais, como simulações de software de experimentos de mecânica quântica, na estrutura cognitiva e nos perfis epistemológicos dos alunos. Além disso, empregam a concepção de obstáculos epistemológicos de Bachelard para investigar as concepções dos alunos sobre a dualidade onda-partícula, um conceito fundamental na mecânica quântica. Dessa forma, o artigo explora o impacto da Mediação cognitiva por meio de ferramentas hiperculturais na estrutura cognitiva dos alunos, ao mesmo tempo em que investiga as concepções dos alunos sobre a dualidade onda-partícula. Estabelece conexões entre essas concepções e as principais interpretações da mecânica quântica, além de mapear as filosofias que influenciam o entendimento dos alunos.

A partir das ideias de Bachelard, Mortimer (1995, 2000) desenvolveu a noção de perfil conceitual, na qual um mesmo conceito pode ser fragmentado em diferentes zonas que correspondem a diferentes formas de ver, representar e dar significado ao mundo. Isso significa que qualquer indivíduo pode ter mais de uma forma de compreender a realidade, as quais podem ser utilizadas em contextos apropriados. Conforme Mortimer (1995,

p.274), "considerando a noção de Perfil Conceitual (PC), o problema de aprender e ensinar ciências pode ser encarado de uma nova maneira". A partir dessa perspectiva, obstáculos na aprendizagem de conceitos podem ser identificados e abordados em sala de aula, com uma visão de aprendizagem de ciências como uma mudança nos perfis conceituais. Isso implica que os alunos não precisam necessariamente abandonar suas concepções ao aprender novas ideias científicas, mas sim tornarem-se conscientes das diferentes zonas e das relações entre elas. Para o autor, "as ideias prévias dos alunos desempenham um papel fundamental no processo de aprendizagem" (Mortimer, 2000).

Mortimer (1995) aplicou a noção de perfil conceitual a dois conceitos relacionados à teoria da matéria: concepção atomística e estados físicos. Nessas obras, o autor analisou os obstáculos decorrentes de cada zona do perfil estabelecido, o que permite descrever o processo de formação de conceitos nas aulas de ciências de forma coerente com a ideia de que diferentes pontos de vista podem ser complementares. Cada zona em um perfil conceitual oferece uma maneira única de enxergar o mundo, que difere das outras zonas e corresponde a diferentes formas de Mediação, teorias e linguagens que traduzem o mundo em suas próprias formas. A própria realidade não pode ser completamente compreendida a partir de uma única perspectiva, pois apenas uma visão complementar é capaz de produzir uma imagem completa.

Usando as ideias dos autores Bachelard e Mortimer, foi construído, de forma exploratória, o Perfil de Nível de Mediação Externa, seguindo a TMC, para cada um dos conceitos apresentados pelos estudantes. Isso possibilitou a visualização das Mediações (Psicofísica, Social, Cultural e Hiper-cultural) mais relevantes para a criação das imagens mentais que auxiliaram na compreensão dos temas, assim como as transições entre os mecanismos externos.

A noção de perfil conceitual compartilha algumas características com o perfil epistemológico, como a hierarquia entre diferentes zonas do perfil. Cada zona sucessiva no perfil epistemológico parte da filosofia ingênua e avança em direção ao pensamento científico, enquanto no perfil conceitual, as zonas se organizam do mais antigo ao moderno. Essa proposição e organização também são aplicadas na construção aqui apresentada, em que o Perfil do Nível de Mediação Externa abrange desde o mecanismo psicofísico, como a primeira etapa emergente por meio das interações com o ambiente, até

o nível hipercultural, que surge cronologicamente a partir da Revolução Digital.

A compreensão de Mortimer do perfil conceitual indica que a realidade só pode ser compreendida por meio de uma visão complementar das diferentes zonas do perfil conceitual, cada uma sendo desenvolvida pelo aluno. Da mesma forma, o Perfil do Nível de Mediação Externa revela naturalmente como a compreensão de um determinado conceito por um aluno é formada por um mosaico de representações e influências de diferentes níveis de Mediação, oriundos de diferentes objetos externos de processamento. Se o Perfil de Nível de Mediação de um conceito específico, para um aluno, for predominantemente preenchido com representações do nível da Mediação Psicofísica, isso pode indicar pouca interação com os professores (Mediação Social) e com artefatos culturais, como livros ou até mesmo simulações sofisticadas, que poderiam oferecer melhores representações dos fenômenos relacionados ao conceito.

O Perfil de Nível de Mediação Externa é traçado individualmente para cada conceito, indicando as transições entre as Mediações e a frequência de cada uma delas. Essa análise possibilita determinar o grau de importância de cada mecanismo extracerebral na compreensão dos conceitos estudados, seguindo uma progressão histórica que vai desde o nível psicofísico até o hipercultural. No eixo das abscissas, são representadas as Mediações sucessivas, enquanto no eixo das ordenadas é atribuído um valor correspondente à frequência efetiva com que cada Mediação é expressa pelo participante em relação a cada conceito. Essa representação será demonstrada nas aplicações do Perfil a seguir.

Aplicação do Perfil de Nível de Mediação Externa

Aqui serão apresentados alguns exemplos de utilização do Perfil de Nível de Mediação Externa com aplicações no Ensino de Física. As investigações tinham como objetivos identificar quais Mediações externas proporcionavam um repertório maior de imagens mentais aos estudantes em relação aos conceitos de luz (Anjos, 2022) e da relatividade (Souza, 2021).

Em ambos os estudos, após o período de coleta de dados, foram conduzidas entrevistas semiestruturadas gravadas, seguindo o protocolo Report Aloud (Trevisan et al, 2019). Em seguida, essas entrevistas foram analisadas por meio da técnica de Análise Gestual Descritiva (Clement & Steinberg, 2002; Monaghan & Clement, 1999; Stephens & Clement, 2010,

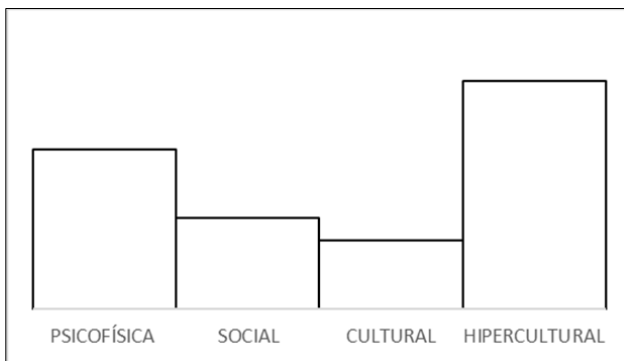
2015). Essa é uma análise qualitativa que busca identificar gestos descritivos realizados pelos estudantes. Os trabalhos sugerem a existência de uma relação entre as imagens mentais presentes na estrutura cognitiva dos estudantes e os gestos que eles realizam.

Os discursos verbais e gestuais foram analisados em conjunto. Dessa forma, procurou-se identificar os mecanismos externos utilizados para explicar determinados fenômenos por meio da produção de imagens mentais. E, por meio dessa abordagem, foi possível elaborar a ferramenta individual de análise aqui apresentada.

Um Perfil de Nível de Mediação Externo foi desenvolvido para cada conceito estudado durante a investigação (Anjos, 2022). Ao final, construiu-se um quadro geral para cada estudante. Por exemplo, a Figura 9 a seguir apresenta o Perfil de Nível de Mediação Externa do aluno A11 (nomenclatura utilizada na pesquisa) referente ao conceito de luz:

Figure 9

Perfil de Nível de Mediação Externa do estudante A11

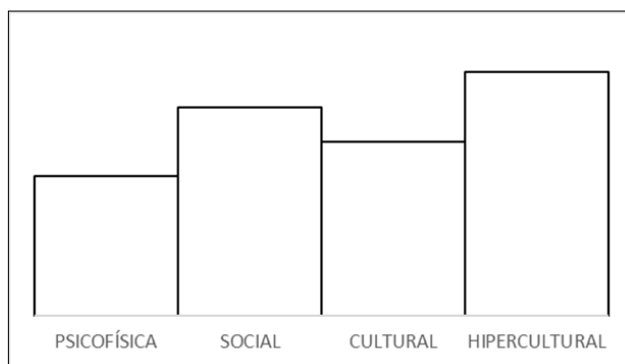


Para a construção do Perfil de Nível de Mediação Externa com base nas questões relacionadas aos conceitos que envolvem a ideia de luz, observou-se que a Mediação Hiper-cultural foi a mais relevante na criação dos drivers que originam as simulações mentais do estudante A11. Em outras palavras, esse mecanismo foi o mais mencionado pelo estudante e o que mais permitiu a construção de imagens mentais. Em seguida, temos as Mediações Psicofísica, Social e Cultural, respectivamente.

Com o objetivo de investigar o grau de relevância de cada Mediação para as questões relacionadas aos conceitos da relatividade especial e suas transições entre os diferentes mecanismos de processamento externo, a Figura 10 apresenta o Perfil de Nível de Mediação Externa do estudante A18:

Figura 10

Perfil de Nível de Mediação Externa do estudante A18



Conforme mencionado anteriormente, foi construído um Perfil de Nível de Mediação Externa individual para cada conceito abordado nas questões de pesquisa, e em seguida, um quadro geral foi elaborado. Ao analisar o estudante A18, observa-se que, novamente, o mecanismo mais citado pelo estudante e que permite a construção de imagens mentais é a Mediação Hipercultural. Em seguida, temos as Mediações Social, Cultural e Psicofísica, respectivamente.

As pesquisas apresentadas foram conduzidas de maneiras distintas. A primeira, que abordou o conceito de luz, foi realizada remotamente e priorizou a construção de um aparato experimental, passando por etapas que envolviam leitura, visualização de vídeos, simulações e uma aula gravada. Já a segunda investigação, relacionada aos conceitos da relatividade especial, ocorreu em sala de aula, de forma presencial, e a professora desenvolveu diferentes atividades que envolviam as quatro Mediações. Observa-se que os estudantes examinados transitam por todas as formas de Mediação Externa, com graus de relevância distintos, que se mostraram importantes na construção de conceitos físicos.

É comum que, ao responder uma questão, o estudante utilize mais de uma Mediação ao imaginar a situação. Em outras palavras, as imagens mentais são originárias da interação entre as Mediações, como exemplificado anteriormente. Uma das considerações relevantes em relação à construção do Perfil de Nível de Mediação Externa nas duas pesquisas apresentadas é que, para cada pergunta, são relatadas no mínimo duas Mediações, evidenciando que a construção de conceitos requer diferentes Mediações que se complementam, dialogando e compondo o conceito na mente do estudante. A adição da Mediação Sofotécnica vai trazer elementos novos que vão enriquecer o aprendizado conceitual do estudante por meio de metodologias ativas.

CONCLUSÕES

A presente pesquisa apresentou uma proposta de uso da inteligência artificial (IA) com a teoria da modelagem conceitual (TMC) para o ensino de ciências. A proposta consiste em utilizar um sistema de IA que gera modelos conceituais personalizados para cada aluno, com base em seus conhecimentos prévios, interesses e objetivos de aprendizagem. Também nessa pesquisa, discutiu-se as vantagens e os desafios dessa abordagem, bem como apresentou-se um estudo de caso ilustrativo de sua aplicação em uma turma do ensino médio.

A proposta apresentada é inovadora e relevante para o campo do ensino de ciências, pois busca integrar a IA com a TMC de forma a promover uma aprendizagem mais significativa, contextualizada e autônoma dos alunos. A utilização da IA com a TMC pode contribuir para superar algumas limitações dos métodos tradicionais de ensino, que muitas vezes não consideram as características individuais dos alunos, nem estimulam o desenvolvimento de habilidades de modelagem e resolução de problemas.

Porém, a proposta também apresenta alguns desafios e limitações que precisam ser considerados e superados. Por exemplo, o sistema de IA requer uma base de dados robusta e atualizada para gerar os modelos conceituais adequados para cada aluno. Também é necessário garantir a qualidade e a confiabilidade do *feedback* e das sugestões fornecidos pelo sistema, que deve ser coerente com os objetivos pedagógicos do professor.

Diante disso, sugere-se que sejam realizadas mais pesquisas empíricas para avaliar a efetividade e a viabilidade da proposta em diferentes contextos educacionais. Também se recomenda que sejam desenvolvidos mecanismos

de avaliação da compreensão dos alunos que sejam compatíveis com a abordagem da IA com a TMC, como portfólios, mapas conceituais, autoavaliações e revisão por pares, que permitam acompanhar o progresso dos alunos e verificar se eles estão construindo modelos conceituais consistentes e coerentes com os conceitos científicos.

Em suma, esse artigo propôs uma forma inovadora de utilizar a IA com a TMC para o ensino de ciências, que pode trazer benefícios para os alunos e para os professores. No entanto, ainda há necessidade de mais estudos e experimentações para validar e aprimorar a proposta, bem como para desenvolver formas adequadas de avaliar a compreensão dos alunos. Espera-se que essa proposta possa inspirar outros pesquisadores e educadores a explorar as possibilidades da IA com a TMC para o ensino de outras áreas do conhecimento.

AGRADECIMENTOS

Esse estudo foi financiado em parte pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES, Código Financeiro 001).

DECLARAÇÃO DE CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

JA utilizou seu próprio estudo de caso para analisar o perfil do nível de mediação. MGS redigiu a maior parte da seção de resultados, detalhando as diferentes atividades de níveis de mediação para aplicação em sala de aula. TSB examinou o uso de metodologias ativas e contribuiu significativamente para a organização do artigo. AS concebeu a ideia original do artigo e realizou a revisão bibliográfica.

DECLARAÇÃO DE DISPONIBILIDADE DE DADOS

Os dados que sustentam as conclusões deste estudo estarão disponíveis com o autor correspondente mediante solicitação razoável.

REFERÊNCIAS

- Akpan, I. J., & Andre, T. (2020). Virtual Reality in Science Education: A Meta-Analysis. *Educational Technology & Society*, 23(4), 1-13. <https://doi.org/10.2307/j.ctv512ggz.9>
- Anjos, J. R. (2022). *Utilização de Atividades Investigativas para o Ensino Remoto de Conceitos de Luz e Cor em Física*. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática). Universidade Luterana do Brasil.
- Bachelard, G. (1991). *A Filosofia do Não* (5th ed.). Presença.
- Bachelard, G. (1985). *O Novo Espírito Científico* (2nd ed.). Tempo Brasileiro.
- Bachelard, G., et al. (1966). *La philosophie du non*. Presses Universitaires de France.
- Berdel, N. (2011). As metodologias ativas e a promoção da autonomia de estudantes. *Semina: Ciências Sociais e Humanas*, 32(1), 25-40. <https://doi.org/10.2307/j.ctv512gt9d.5>
- Binz, M., & Schulz, E. (2023). Using cognitive psychology to understand GPT-3. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 120(6), e2218523120. <https://doi.org/10.1073/pnas.2218523120>
- Campello de Souza, B., Serrano de Andrade Neto, A., & Roazzi, A. (2023). ChatGPT, the cognitive mediation networks theory and the emergence of sophotechnic thinking: How Natural Language AIs Will Bring a New Step in Collective Cognitive Evolution. *SSRN 4405254*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4405254>
- Capone, R. (2022). Blended learning and student-centered active learning environment: A case study with STEM undergraduate students. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 22(1), 210-236. <https://doi.org/10.1007/s42330-022-00195-5>
- Chistyakov, A. A., et al. (2023). Exploring the characteristics and effectiveness of project-based learning for science and STEAM education. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 19(5), 2256. <https://doi.org/10.29333/ejmste/13128>
- Choi, J. H., Hickman, K. E., Monahan, A., & Schwarcz, D. (2023). ChatGPT Goes to Law School. *SSRN*. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4335905>

- Clement, J. J., & Steinberg, M. S. (2002). Step-wise evolution of mental models of electric circuits: a "learning-aloud" case study. *Journal of Learning Sciences*, 11(4), 389-452.
https://doi.org/10.1207/S15327809JLS1104_1
- Crompton, H. (2013). A historical overview of mobile learning: Toward learner-centered education. In Z. L. Berge & L. Y. Muilenburg (Eds.), *Handbook of mobile learning* (pp. 3-14). Routledge.
- Crouch, C. H., & Mazur, E. (2001). Peer Instruction: Ten years of experience and results. *American Journal of Physics*, 69(9), 970.
- de Souza, M. G. (2021). *Das Transformações de Galileu a Lorentz: compreendendo as simulações mentais e concepções de estudantes do Ensino Médio sobre relatividade especial*. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática), ULBRA, Canoas.
- de Souza, M. G., & Serrano, A. (2020). The impact of the usage of hypercultural mediation in the teaching of Special Relativity in high school in Brazil. *Acta Scientiae*, 22(4), 2-27.
- Freitas, S. A. (2019). *Um estudo da utilização didática de ferramentas de cognição extracerebrais por estudantes do ensino fundamental do modelo do átomo de Bohr*. Dissertação (Mestrado - Ensino de Ciências e Matemática), Universidade Luterana do Brasil, Canoas.
- Freitas, V. G., da Silva, R. H. B., & Cardoso, L. C. (2020). Uso de tecnologia digital para situações didáticas colaborativas em sala de aula. *Educação Online*, 15(34), 58-78.
<https://doi.org/10.36556/eol.v15i34.638>
- Garg, S. (2023). *ChatGPT alternatives that will blow your mind in 2023*. The Writesonic Blog. <https://writesonic.com/blog/chatgpt-alternatives/>
- Hu, K. (2023). *ChatGPT sets record for fastest-growing user base - analyst note*. Reuters. <https://www.reuters.com/technology/chatgpt-sets-record-fastest-growing-user-baseanalyst-note-2023-02-01/>
- Inayah, S., et al. (2023). The Impact of Flipped Classroom Implementation in Mathematics Learning at Schools: Systematic Literature Review. *Journal Analisa*, 9(1), 59-73.
- Johnson, D. W., Johnson, R. T., & Smith, K. A. (2014). Cooperative learning: Improving university instruction by basing practice on validated theory. *Journal on Excellence in College Teaching*, 25(4), 85-118.

- Kung, T. H., et al. (2022). *Performance of ChatGPT on USMLE: Potential for AI-Assisted Medical Education Using Large Language Models*. medRxiv. <https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2022.12.19.22283643v2>
- Manca, S., & Ranieri, M. (2016). Facebook and the others. Potentials and obstacles of Social Media for teaching in higher education. *Computers & Education*, 95, 216-230. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.01.012>
- Mattos, F. A. M. D., & Chagas, G. J. D. N. (2008). Desafios para a inclusão digital no Brasil. *Perspectivas em Ciência da Informação*, 13, 67-94.
- Meggiolaro, G. P. (2019). *Uma investigação entre os mecanismos externos de Mediação e situações-problema de eletrostática, em uma disciplina de física geral em nível universitário*. Tese (Doutorado - Ensino de Ciências e Matemática), Universidade Luterana do Brasil, Canoas.
- Minutelabs. (2023). *Relativistic Space Sheep*. <http://labs.minutelabs.io/Relativistic-Space-Sheep/>
- Monaghan, J. M., & Clement, J. J. (1999). Use of a computer simulation to develop mental simulations for understanding relative motion concepts. *International Journal of Science Education*, 21(9), 921-944.
- Mortimer, E. F. (1995). Conceptual change or conceptual profile change? *Science & Education*, 4(3), 267-285.
- Mortimer, E. F. (2000). *Linguagem e formação de conceitos no ensino de ciências*. Universidade Federal de Minas Gerais.
- Mortimer, E. F., & Amaral, L. O. F. (1998). Quanto mais quente melhor: calor e temperatura no ensino de termoquímica. *Química Nova na Escola*, 7(1), 30-34.
- OpenAI. (2022). *Introducing ChatGPT*. <https://openai.com/blog/chatgpt>.
- OpenAI. (2023). *GPT-4*. <https://openai.com/research/gpt-4>.
- Postiglione, A., & Angelis, I. (2021). Students' understanding of gravity using the rubber sheet analogy: an Italian experience. *Physics Education*, 56(2), 025020. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/abd1c4>
- Rozado, D. (2023). *What is the IQ of ChatGPT?* by David Rozado. <https://davidrozado.substack.com/p/what-is-the-iq-ofchatgpt>.

- Saturnino, L. (2015). *Novo Airbus que simula a gravidade zero começa a operar*. NE10, 07 maio 2015. <https://ne10.uol.com.br/mundobit/2015/05/07/novo-airbus-que-simula-a-gravidade-zero-comeca-a-operar/index.html>.
- So, W. W. M., & Kim, B. (2018). Augmented Reality (AR) and Virtual Reality (VR) Applied in Science Education. *Journal of Science Education and Technology*, 27(6), 551-564.
- Souza, B. C., et al. (2012). Putting the Cognitive Mediation Networks Theory to the test: Evaluation of a framework for understanding the digital age. *Computers in Human Behavior*, 28(6), 2320-2330. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2012.07.002>
- Stephens, A. L., & Clement, J. J. (2010). Documenting the use of expert scientific reasoning processes by high school physics students. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 6(2), 020122. <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.6.020122>
- Stephens, A. L., & Clement, J. J. (2015). Use of physics simulations in whole class and small group settings: Comparative case studies. *Computers & Education*, 86, 137-156. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2015.02.014>
- Tao, P. K., & Gunstone, R. F. (1999). Conceptual change in science through collaborative learning at the computer. *International Journal of Science Education*, 21(1), 39-57. <https://doi.org/10.1080/095006999290822>
- Terwiesch, C. (2023). *Would Chat GPT Get a Wharton MBA? A Prediction Based on Its Performance in the Operations Management Course*. Mack Institute, Wharton, University of Pennsylvania. <https://mackinstitute.wharton.upenn.edu/wpcontent/uploads/2023/01/Christian-Terwiesch-Chat-GTP-1.24.pdf>
- The day that Stephen Hawking soared like Superman*. BBC News, 17 mar. 2018. <https://www.bbc.com/news/in-pictures-43430023>.
- Trevisan, R., & Serrano, A. (2018). Investigating the Drivers and Mental Representations of the Private Interpretations of Students of Quantum Mechanics. *Acta Scientiae*, 20(4). <https://doi.org/10.1590/1516-731320190030004>

- Trevisan, R., Serrano, A., Wolff, J., & Ramos, A. (2019). Peeking into students' mental imagery: the Report Aloud technique in Science Education research. *Ciência & Educação (Bauru)*, 25, 647-664. <https://doi.org/10.1590/1516-731320190030004>
- Valente, J. A., Almeida, M. E. B. D., & Geraldini, A. F. S. (2017). Metodologias ativas: das concepções às práticas em distintos níveis de ensino. *Revista Diálogo Educacional*, 17(52), 455-478. <https://doi.org/10.7213/1981-416x.17.052.ds07>
- Veiga, I. P. A. (2006). *Técnicas de ensino: novos tempos, novas configurações*. Papirus.
- Webb, T., Holyoak, K. J., & Lu, H. (2022). Emergent Analogical Reasoning in Large Language Models. *arXiv Computer Science - Artificial Intelligence*. <https://arxiv.org/abs/2212.09196v1>
- Woolf, Beverly Park. (2009). *Building intelligent interactive tutors: Student - centered strategies for revolutionizing e-learning*. Morgan Kaufmann.