

ANÁLOGO MECÂNICO DOS BURACOS NEGROS E METODOLOGIA PEER INSTRUCTION

Mechanical Analogue of Black Holes and Peer Instruction Methodology

Eliabe Figueira Cardoso [figueiraeliabe@gmail.com]

José Anglada Rivera [jose.anglada@ifam.edu.br]

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas - IFAM

Avenida 7 de Setembro, nº 1975, Centro, Manaus/AM, CEP 69.020-120

Recebido: 02/03/2026

Aceito: 29/03/2026

Resumo

Este artigo discute o desenvolvimento e a implementação de um análogo mecânico de buracos negros utilizando o conceito de um “funil gravitacional” para representar propriedades fundamentais desses objetos astrofísicos, relacionando conceitos de Física Moderna à Física Clássica. A proposta integra a metodologia ativa Peer Instruction (PI) para promover a aprendizagem colaborativa em turmas do ensino médio. Os dados qualitativos e quantitativos coletados durante a implementação são analisados à luz da literatura especializada, destacando as contribuições didático-pedagógicas do projeto e sugerindo direções para pesquisas futuras.

Palavras-chaves: Análogo Mecânico; Buracos Negros; Peer Instruction; Física Moderna.

Abstract

This article discusses the development and implementation of a mechanical black hole analog using the concept of a “gravitational funnel” to represent fundamental properties of these astrophysical objects, relating concepts from Modern Physics to Classical Physics. The proposal integrates the active Peer Instruction (PI) methodology to promote collaborative learning in high school classes. The qualitative and quantitative data collected during the implementation are analyzed in light of the specialized literature, highlighting the didactic-pedagogical contributions of the project and suggesting directions for future research.

Keywords: Black Holes; Mechanical Analogue; Modern Physics; Peer Instruction.

1 Introdução

A inclusão de conteúdos de Física Moderna no ensino médio, como Relatividade Geral e buracos negros, tem sido amplamente discutida na literatura da área de Ensino de Física. Esses temas apresentam elevado grau de abstração conceitual e matemática, além de uma distância significativa entre os modelos teóricos e a experiência cotidiana dos estudantes, o que dificulta a aprendizagem significativa. Estudos brasileiros apontam que tais dificuldades não são apenas conceituais, mas também curriculares e metodológicas, exigindo estratégias didáticas que promovam mediações adequadas entre o conhecimento científico e o contexto escolar (Moreira, 2021; Januário; Hoernig; Massoni, 2024).

Nesse cenário, o uso de modelos analógicos e análogos físicos tem sido defendido como uma estratégia potencial para facilitar a introdução de conceitos abstratos, desde que seus limites epistemológicos sejam explicitados. Analogias podem atuar como instrumentos mediadores entre domínios familiares e conceitos científicos complexos, favorecendo a construção inicial de significados. No entanto, pesquisas brasileiras alertam que o uso acrítico dessas analogias pode levar a interpretações equivocadas, reforçando concepções alternativas se não houver mediação docente adequada (Bozelli; Nardi, 2006). Assim, a utilização de análogos mecânicos no ensino de Física Moderna deve ser acompanhada de discussões conceituais que explicitem tanto suas potencialidades quanto suas limitações.

Paralelamente, metodologias ativas de ensino têm ganhado destaque na literatura educacional como alternativas às abordagens tradicionais centradas na exposição verbal do professor. Dentre essas metodologias, destaca-se a Peer Instruction (PI), que se baseia na proposição de questões conceituais e na promoção de discussões estruturadas entre pares, incentivando a argumentação e a explicitação das concepções prévias dos estudantes. Pesquisas realizadas no contexto brasileiro indicam que a aplicação da Peer Instruction pode contribuir para o aumento do engajamento discente e para a melhoria da compreensão conceitual em Física, inclusive no ensino médio (Araújo et al., 2017; Müller et al., 2017; Junger; Ferraz; Vilela, 2021).

Do ponto de vista curricular, a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) enfatiza a importância do desenvolvimento do pensamento científico, crítico e criativo, bem como da contextualização dos conhecimentos científicos no ensino médio. Embora a BNCC não apresente formalismos da Física Moderna de maneira explícita, ela abre espaço para a abordagem qualitativa de temas contemporâneos, especialmente no âmbito das Ciências da Natureza. Entretanto, estudos críticos apontam que a Física Moderna ainda ocupa um espaço marginal nos currículos escolares, configurando-se, em muitos casos, como um “não lugar” curricular (Brasil, 2017; Arruda, 2022).

Diante desse contexto, propõe-se o desenvolvimento e a implementação de um análogo mecânico de buracos negros, inspirado na ideia de um “funil gravitacional”, articulado à metodologia

Peer Instruction. Parte-se do pressuposto de que a combinação entre um recurso didático concreto e uma metodologia ativa pode favorecer a introdução qualitativa de conceitos fundamentais da Relatividade Geral no ensino médio, respeitando as limitações do nível escolar e promovendo maior engajamento e participação dos estudantes no processo de aprendizagem.

Portanto, este artigo tem como objetivo descrever o desenvolvimento de um análogo mecânico representativo de buracos negros com fins didáticos, investigar a implementação da metodologia *Peer Instruction* em atividades associadas ao uso desse análogo no ensino de Relatividade Geral e discutir as contribuições e limitações da proposta para o ensino de Física Moderna no ensino médio.

2 Revisão de Literatura

2.1 Modelos Analógicos no Ensino de Física

O uso de modelos analógicos no ensino de Física tem sido amplamente discutido na literatura educacional como uma estratégia didática capaz de mediar a compreensão de fenômenos abstratos e de difícil visualização. Em especial, no ensino de Física Moderna e Contemporânea, as analogias assumem papel central ao permitir que conceitos altamente teóricos sejam inicialmente abordados por meio de representações qualitativas. Pesquisas brasileiras indicam que sequências didáticas baseadas em modelos e analogias podem favorecer a construção de significados conceituais quando articuladas a discussões orientadas pelo professor, evitando uma aprendizagem meramente memorística (Schinzel et al., 2019; Januário; Hoernig; Massoni, 2024).

No contexto específico do ensino de buracos negros e Relatividade Geral, estudos nacionais têm proposto sequências didáticas que utilizam recursos visuais, simulações computacionais e modelos físicos simplificados para introduzir noções como gravitação intensa, curvatura do espaço-tempo e horizonte de eventos. Schinzel et al. (2019) desenvolveram uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) voltada para o ensino fundamental e médio, evidenciando que a abordagem qualitativa desses temas pode promover discussões conceituais relevantes, mesmo na ausência de formalismo matemático avançado. Esses trabalhos reforçam a ideia de que a Física Moderna pode ser abordada no ensino básico desde que sejam adotadas estratégias didáticas adequadas ao nível cognitivo dos estudantes.

Dentre os diferentes tipos de analogias, os análogos mecânicos ocupam posição de destaque por permitirem a manipulação direta e a observação concreta de fenômenos que, em sua forma original, são inacessíveis à experiência cotidiana. Dispositivos como o funil gravitacional pode ser utilizados para ilustrar, de forma qualitativa, a ideia de curvatura do espaço-tempo associada a corpos massivos. Embora tais representações não reproduzam fielmente a geometria quadridimensional da Relatividade Geral, elas possibilitam a exploração de relações entre movimento, força e geometria,

favorecendo a conexão entre conceitos da Física Clássica e Moderna (Bozelli; Nardi, 2006; Moreira, 2021).

Entretanto, a literatura também alerta para os riscos associados ao uso indiscriminado de analogias e modelos físicos. Analogias mal conduzidas podem reforçar concepções alternativas, como a interpretação literal da curvatura do espaço-tempo como um “afundamento” em uma superfície bidimensional. Dessa forma, autores destacam a importância de explicitar os limites do modelo analógico, discutindo com os estudantes quais aspectos do fenômeno são representados e quais não são contemplados pelo análogo (Bozelli; Nardi, 2006). Assim, o valor pedagógico dos análogos mecânicos está menos na fidelidade física do modelo e mais em seu potencial para desencadear discussões conceituais orientadas.

À luz dessas contribuições, observa-se que o uso de análogos mecânicos no ensino de Física Moderna deve ser compreendido como uma estratégia introdutória e mediadora, e não como uma representação completa dos fenômenos relativísticos. Quando integrados a metodologias ativas de ensino, esses recursos podem favorecer a participação discente, a argumentação e a construção coletiva de significados, desde que acompanhados de mediação docente e reflexão crítica sobre o modelo utilizado.

2.2 Peer Instruction no Contexto Brasileiro

A metodologia Peer Instruction (PI) tem conquistado interesse no cenário educacional brasileiro, especialmente no âmbito do ensino de Ciências e Física. Desde sua introdução no país, diferentes pesquisas têm investigado sua aplicação em variados níveis de ensino, com destaque para o ensino médio e a formação de professores. Esses estudos indicam que a PI favorece a participação ativa dos estudantes, promove a argumentação entre pares e contribui para a explicitação e reorganização das concepções prévias, elementos centrais para a aprendizagem conceitual em Física (Müller et al., 2017).

No ensino médio, a pesquisa de Padilha Júnior e Neto (2022) analisou a aprendizagem de conceitos de Física por meio da aplicação sistemática do Peer Instruction, evidenciando que a interação entre os alunos durante as discussões conceituais desempenha papel fundamental na construção do conhecimento. Os autores destacam que o engajamento discente tende a aumentar quando os estudantes percebem que suas ideias são valorizadas e confrontadas coletivamente, rompendo com a lógica passiva das aulas expositivas tradicionais. No entanto, os resultados também indicam que a efetividade da metodologia depende fortemente da qualidade das questões conceituais propostas e da mediação exercida pelo professor.

No que se refere ao ensino de Física Moderna, estudos como o de Junger, Ferraz e Vilela (2021) apontam que o Peer Instruction pode ser particularmente adequado para tratar conteúdos

abstratos, uma vez que privilegia a discussão conceitual em detrimento do formalismo matemático. Ao utilizar questões cuidadosamente elaboradas, a metodologia permite que os estudantes mobilizem conhecimentos prévios e analogias intuitivas para construir explicações iniciais sobre fenômenos complexos, como aqueles associados à Relatividade e à Física Contemporânea. Esses autores ressaltam que o PI não elimina as dificuldades conceituais inerentes a esses temas, mas cria um ambiente propício para que tais dificuldades sejam explicitadas e trabalhadas coletivamente.

No âmbito da formação docente, a dissertação de Petter (2021) analisou a adoção do Peer Instruction em cursos de Mestrado Profissional em Ensino no Brasil, evidenciando que a metodologia tem sido apropriada como uma estratégia de inovação didática tanto na formação inicial quanto na continuada de professores. O estudo destaca que a experiência com o PI contribui para a reflexão crítica sobre práticas pedagógicas tradicionais e estimula os docentes a repensarem o papel do estudante no processo de ensino-aprendizagem. Contudo, a autora também aponta desafios relacionados à adaptação da metodologia às condições reais das escolas brasileiras, como limitações de tempo, infraestrutura e cultura escolar.

De modo geral, a literatura nacional sugere que a Peer Instruction apresenta potencial significativo para o ensino de Física no contexto brasileiro, especialmente quando articulado a recursos didáticos que favoreçam a discussão conceitual, como modelos analógicos e experimentos qualitativos. Entretanto, os estudos também convergem ao indicar que a metodologia não deve ser compreendida como uma solução universal, mas como uma estratégia que exige planejamento cuidadoso, formação docente adequada e integração com os objetivos curriculares. Essa compreensão fundamenta a proposta apresentada neste trabalho, que associa o Peer Instruction ao uso de um análogo mecânico para o ensino de conceitos relacionados aos buracos negros.

3 Metodologia

3.1 Construção do Análogo Mecânico

O análogo mecânico de buracos negros foi desenvolvido com o objetivo de representar, de forma qualitativa e acessível, alguns aspectos fundamentais associados à gravitação intensa descrita pela Relatividade Geral, em especial a ideia de curvatura do espaço-tempo e o comportamento de trajetórias nas proximidades de um corpo massivo. O modelo foi construído a partir de materiais de baixo custo, consistindo em um funil confeccionado com garrafa PET, areia e um suporte de madeira (figura 1), visando facilitar sua reprodução em contextos escolares com recursos limitados, conforme recomendado em estudos sobre experimentação e modelos didáticos no ensino de Física (Moreira, 2021).



Figura 1 - Análogo mecânico de buracos negros construído com garrafa PET, areia e suporte de madeira

Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

A escolha do funil como elemento central do análogo fundamentou-se inicialmente na ideia do Funil de Boyle, o famoso experimento da Física que parece criar uma cascata de água infinita (o que é impossível), sua representação visual pode ser associada à curvatura gravitacional. Embora tal representação não corresponda fielmente à geometria quadridimensional do espaço-tempo relativístico, ela permite explorar qualitativamente relações entre massa, movimento e trajetória, estabelecendo conexões com conceitos da Física Clássica, como movimento circular, aceleração centrípeta e energia mecânica. Pesquisas brasileiras indicam que esse tipo de análogo pode favorecer discussões conceituais iniciais, desde que acompanhado de mediação docente que explicita os limites da analogia utilizada (Bozelli; Nardi, 2006; Schinzel et al., 2019).

Durante a utilização do dispositivo em sala de aula, objetos de diferentes massas e dimensões podem ser colocados em movimento sobre a superfície do funil, permitindo aos estudantes observar variações nas trajetórias e no tempo de permanência antes de atingir a região central do modelo. Essas observações funcionam como disparadores para discussões orientadas sobre conceitos como atração gravitacional, órbitas e horizonte de eventos, sem recorrer a formalismos matemáticos avançados. Tal abordagem está alinhada com propostas que defendem a introdução qualitativa da Física Moderna no ensino médio como forma de promover compreensão conceitual progressiva (Januário; Hoernig; Massoni, 2024).

Ressalta-se que o análogo mecânico não tem a pretensão de representar fielmente um buraco negro real, mas de atuar como um recurso mediador para a construção de significados conceituais iniciais. Conforme apontado na literatura, o valor pedagógico de modelos analógicos reside menos em sua precisão física e mais em sua capacidade de promover questionamentos, argumentação e reflexão crítica sobre os limites dos modelos científicos (Bozelli; Nardi, 2006). Assim, durante as atividades, enfatiza-se explicitamente quais aspectos do fenômeno são representados pelo modelo e quais extrapolam sua capacidade explicativa.

A utilização do análogo mecânico foi planejada de forma integrada à metodologia Peer Instruction, funcionando como suporte visual e experimental para as questões conceituais propostas aos estudantes. Essa articulação busca potencializar o papel do modelo como catalisador de discussões entre pares, favorecendo a participação ativa dos alunos e a construção coletiva do conhecimento, em consonância com estudos que defendem a integração entre recursos didáticos concretos e metodologias ativas de ensino (Müller et al., 2017).

3.2 Aplicação do Peer Instruction

A aplicação da metodologia Peer Instruction (PI) foi planejada de forma integrada ao uso do análogo mecânico de buracos negros, com o objetivo de promover a aprendizagem ativa e a discussão conceitual entre os estudantes. As aulas foram organizadas em uma sequência didática composta por seis aulas estruturadas em breves exposições introdutórias seguidas da apresentação de questões conceituais (*ConcepTests*), conforme os princípios estabelecidos por Mazur (1997) e discutidos na literatura nacional sobre metodologias ativas no ensino de Física (Müller et al., 2017).

Inicialmente, os estudantes foram convidados a refletir individualmente sobre cada questão conceitual proposta, registrando suas respostas de forma independente. Essa etapa teve como finalidade explicitar as concepções prévias dos alunos e incentivar o engajamento cognitivo individual antes da interação social. Estudos brasileiros indicam que esse momento é fundamental para que o estudante se posicione conceitualmente e esteja mais propenso a participar das discussões subsequentes de forma argumentativa (Padilha Júnior; Neto, 2022).

Em seguida, os alunos foram organizados em pequenos grupos ou pares para discutir suas respostas e justificar seus raciocínios. Essa fase de interação entre pares constitui o núcleo da metodologia Peer Instruction, pois permite o confronto de ideias, a negociação de significados e a reconstrução conceitual a partir do diálogo. Pesquisas realizadas no contexto brasileiro apontam que a troca de argumentos entre estudantes com níveis distintos de compreensão pode favorecer avanços conceituais significativos, especialmente em conteúdos abstratos como os da Física Moderna (Junger; Ferraz; Vilela, 2021).

Após o período de discussão em grupo, os estudantes foram convidados a revisar suas respostas iniciais e registrar uma resposta final. O professor, atuando como mediador, acompanhou as discussões, esclareceu dúvidas pontuais e promoveu intervenções conceituais sempre que necessário, sem antecipar respostas corretas. Esse papel mediador é destacado na literatura como elemento central para o sucesso da PI, uma vez que a metodologia não prescinde da atuação docente, mas redefine sua função no processo de ensino-aprendizagem (Müller et al., 2017).

A integração da Peer Instruction com o análogo mecânico buscou fornecer um suporte visual e experimental às discussões conceituais, ampliando as possibilidades de argumentação dos

estudantes. Dessa forma, o análogo funcionou como um elemento disparador para as questões propostas, permitindo que os alunos relacionassem suas observações empíricas com conceitos teóricos discutidos coletivamente. Essa articulação entre recurso didático concreto e metodologia ativa está em consonância com estudos que defendem abordagens híbridas para o ensino de Física Moderna no ensino médio (Januário; Hoernig; Massoni, 2024).

3.3 Coleta de Dados

A coleta de dados foi estruturada de modo a contemplar tanto aspectos qualitativos quanto quantitativos do processo de ensino-aprendizagem, buscando uma análise mais abrangente dos efeitos da intervenção pedagógica. Essa opção metodológica fundamenta-se em abordagens mistas amplamente utilizadas em pesquisas em Ensino de Física, que permitem captar não apenas possíveis variações no desempenho conceitual dos estudantes, mas também suas percepções, interações e formas de participação em sala de aula (Moreira; Rosa, 2016).

Os dados qualitativos foram obtidos por meio de observações sistemáticas realizadas durante as aulas, com foco na dinâmica das discussões entre pares (figura 2), no nível de engajamento dos estudantes e na forma como os alunos mobilizavam argumentos conceituais ao interagir com o análogo mecânico e com as questões propostas. Esse tipo de registro permite identificar indícios de aprendizagem que não são diretamente mensuráveis por testes objetivos, como a evolução da argumentação, a explicitação de concepções prévias e a participação ativa nas discussões, conforme destacado em estudos brasileiros sobre metodologias ativas (Müller et al., 2017).

Adicionalmente, foram utilizadas respostas objetivas coletadas por meio do software Plickers (figura 3), ferramenta digital que possibilita a obtenção rápida de respostas individuais em tempo real, sem a necessidade de dispositivos eletrônicos por parte dos estudantes. O uso dessa ferramenta foi integrado à aplicação da metodologia Peer Instruction, permitindo ao professor acompanhar a distribuição das respostas antes e depois das discussões em grupo. Pesquisas na área de ensino de Ciências apontam que ferramentas de resposta imediata podem contribuir para a avaliação formativa e para a tomada de decisões pedagógicas durante a aula, desde que utilizadas como suporte ao processo de ensino e não apenas como instrumento de mensuração (Araújo et al., 2017).



Figura 2 – Discussão entre pares durante a aplicação da metodologia Peer Instruction

Fonte: Elaborado pelos autores (2025)



Figura 3 – Utilização do aplicativo Plickers para coleta de respostas dos estudantes em sala de aula

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Os dados quantitativos foram coletados por meio de instrumentos de avaliação conceitual aplicados antes e após a intervenção pedagógica, com o objetivo de identificar possíveis variações na compreensão dos conceitos trabalhados. Esses instrumentos foram elaborados com foco em questões conceituais, alinhadas aos conteúdos discutidos nas aulas e às perguntas utilizadas no Peer Instruction. A aplicação de testes pré e pós-intervenção é uma estratégia recorrente em pesquisas em Ensino de Física, sendo utilizada para investigar indícios de aprendizagem conceitual associados a diferentes metodologias de ensino (Padilha Júnior; Neto, 2022).

Cabe destacar que os resultados obtidos a partir desses instrumentos foram interpretados de forma cautelosa, considerando as limitações inerentes ao contexto escolar, como o tempo reduzido de intervenção e o tamanho da amostra. Assim, os dados quantitativos não são tratados como evidências conclusivas de eficácia, mas como indicadores complementares que, articulados aos dados qualitativos, contribuem para a análise do potencial pedagógico da proposta desenvolvida.

4 Resultados e Discussão

4.1 Engajamento e Compreensão Conceitual

A análise dos dados qualitativos e quantitativos coletados durante a intervenção pedagógica indica que a combinação entre o uso do análogo mecânico de buracos negros e a aplicação da metodologia Peer Instruction contribuiu para um aumento perceptível no engajamento dos estudantes nas atividades propostas. As observações em sala de aula evidenciaram maior participação dos alunos nas discussões conceituais, especialmente durante as etapas de debate entre pares, em comparação com aulas expositivas tradicionais. Esse resultado está em consonância com estudos brasileiros que apontam metodologias ativas como fatores relevantes para o aumento da participação discente e do envolvimento cognitivo nas aulas de Física (Padilha Júnior; Neto, 2022).

No que se refere à compreensão conceitual, os dados obtidos por meio dos instrumentos de avaliação aplicados antes e após a intervenção sugerem indícios de avanço na compreensão qualitativa de conceitos relacionados à gravitação e à Relatividade Geral. Embora não se observe uma transformação conceitual plena, o que seria incompatível com o tempo de intervenção e com o nível escolar, nota-se uma maior familiaridade dos estudantes com termos e ideias centrais, como órbita, atração gravitacional intensa e limites de modelos físicos. Resultados semelhantes são relatados na literatura, que destaca que propostas introdutórias em Física Moderna tendem a promover avanços conceituais graduais, sobretudo em nível qualitativo (Junger; Ferraz; Vilela, 2021).

A análise das respostas coletadas via Plickers antes e após as discussões em grupo revelou mudanças na distribuição das alternativas escolhidas pelos estudantes, indicando que a interação entre pares favoreceu a revisão de respostas iniciais. Esse padrão é amplamente descrito em pesquisas sobre Peer Instruction, nas quais a troca de argumentos entre alunos com diferentes níveis de compreensão contribui para o refinamento conceitual coletivo, ainda que persistam concepções alternativas em alguns casos (Müller et al., 2017). Tais resultados reforçam a importância da etapa de discussão entre pares como elemento central da metodologia.

Do ponto de vista qualitativo, as discussões observadas durante a utilização do análogo mecânico indicaram que o modelo funcionou como um elemento catalisador para a argumentação dos estudantes. O caráter visual e manipulável do análogo favoreceu a formulação de hipóteses, questionamentos e explicações intuitivas, que foram posteriormente confrontadas e refinadas nas discussões mediadas pelo professor. Esse achado converge com estudos que defendem o uso de modelos analógicos como instrumentos para desencadear processos argumentativos e reflexivos, especialmente em conteúdos abstratos da Física Moderna (Bozelli; Nardi, 2006; Schinzel et al., 2019).

Entretanto, é importante ressaltar que os resultados observados devem ser interpretados com cautela. O aumento do engajamento e os indícios de avanço conceitual não podem ser atribuídos exclusivamente ao análogo mecânico ou ao Peer Instruction de forma isolada, uma vez que a proposta se baseia na articulação entre ambos. Além disso, fatores como o perfil da turma, a mediação docente e o tempo disponível para a intervenção também influenciam os resultados. Assim, os dados obtidos

não são apresentados como evidências conclusivas de eficácia, mas como indicativos do potencial pedagógico da proposta, em consonância com abordagens qualitativas e exploratórias em Ensino de Física (Moreira; Rosa 2016).

4.2 Comparação com Estudos Análogos

Ao comparar os resultados obtidos neste trabalho com outros estudos que investigaram a aplicação da metodologia Peer Instruction no contexto brasileiro, observa-se convergência quanto ao potencial dessa abordagem para favorecer o engajamento discente e a compreensão inicial de conceitos abstratos. Em especial, pesquisas que articulam o PI com recursos didáticos mediadores indicam que a presença de representações físicas ou visuais pode desempenhar papel relevante na construção de significados conceituais, sobretudo em conteúdos de Física Moderna (Junger; Ferraz; Vilela, 2021).

Estudos nacionais têm destacado que a Peer Instruction, quando aplicada isoladamente, já promove ganhos importantes na participação dos estudantes e na explicitação de concepções prévias. No entanto, a literatura também sugere que a associação da metodologia com recursos didáticos concretos, como experimentos qualitativos, simulações ou modelos analógicos, tende a ampliar o potencial das discussões conceituais, ao oferecer referenciais comuns para a argumentação entre pares (Müller et al., 2017). Nesse sentido, os resultados observados neste trabalho alinham-se a essas evidências, indicando que o análogo mecânico funcionou como um elemento facilitador das interações discursivas promovidas pelo PI.

No caso específico do ensino de Física Moderna, Junger, Ferraz e Vilela (2021) ressaltam que conteúdos altamente abstratos exigem estratégias que reduzam a distância entre o formalismo científico e a compreensão inicial dos estudantes. A introdução de representações físicas concretas, mesmo que simplificadas, pode auxiliar os alunos a formular hipóteses, construir explicações intuitivas e revisar suas ideias a partir do confronto com as concepções dos colegas. Essa dinâmica foi observada nas discussões mediadas neste estudo, nas quais o análogo mecânico serviu como ponto de referência para a construção coletiva de argumentos.

Entretanto, assim como apontado em estudos anteriores, a comparação também evidencia limites comuns a esse tipo de abordagem. A utilização de representações concretas não elimina as dificuldades conceituais inerentes à Física Moderna, nem garante a superação de concepções alternativas de forma definitiva. Pesquisas brasileiras alertam que os avanços observados tendem a ser graduais e predominantemente qualitativos, exigindo continuidade e aprofundamento para que se consolidem aprendizagens mais robustas (Moreira, 2021; Padilha Júnioir; Neto, 2022). Dessa forma, os resultados deste trabalho devem ser compreendidos como parte de um processo formativo mais amplo, e não como evidência isolada de eficácia.

Assim, a comparação com estudos análogos reforça a ideia de que a articulação entre Peer Instruction e modelos analógicos constitui uma estratégia promissora para a introdução de conceitos de Física Moderna no ensino médio, desde que acompanhada de mediação docente cuidadosa e de discussões explícitas sobre os limites dos modelos utilizados. Essa constatação sustenta a relevância da proposta apresentada e aponta para a necessidade de investigações futuras que explorem essa articulação em diferentes contextos escolares e com maior duração.

5 Conclusão

Este trabalho apresentou e discutiu o desenvolvimento e a implementação de um análogo mecânico de buracos negros articulado à metodologia Peer Instruction como estratégia didático-pedagógica para a introdução de conceitos de Física Moderna no ensino médio. A análise dos dados qualitativos e quantitativos sugere que a proposta se mostrou viável no contexto escolar investigado, favorecendo maior engajamento dos estudantes e promovendo discussões conceituais mais participativas em torno de temas tradicionalmente considerados abstratos e de difícil abordagem nesse nível de ensino.

Os resultados indicam que a combinação entre um recurso didático concreto, o análogo mecânico Peer Instruction, contribuiu para criar um ambiente de aprendizagem mais interativo e colaborativo. As discussões entre pares, mediadas pelo professor, possibilitaram a explicitação de concepções prévias, a argumentação coletiva e a revisão de ideias iniciais, aspectos apontados na literatura como centrais para a aprendizagem conceitual em Física. Nesse sentido, os achados deste estudo corroboram pesquisas brasileiras que associam metodologias ativas ao aumento da participação discente e ao envolvimento cognitivo nas aulas.

No que se refere à compreensão conceitual, os dados analisados indicam avanços predominantemente qualitativos, compatíveis com o tempo de intervenção e com o nível escolar dos estudantes. Esses avanços não devem ser interpretados como evidências conclusivas de domínio conceitual da Relatividade Geral, mas como indícios de familiarização inicial com ideias centrais da Física Moderna. Tal resultado está em consonância com estudos que defendem a introdução progressiva e qualitativa desses conteúdos no ensino médio, respeitando os limites cognitivos e curriculares desse nível de ensino.

É importante destacar que a eficácia da proposta não pode ser atribuída exclusivamente ao análogo mecânico ou à metodologia Peer Instruction de forma isolada. Os resultados observados decorrem da articulação entre esses elementos, associada à mediação docente e ao contexto específico da turma investigada. Além disso, limitações como o tamanho da amostra, o tempo reduzido de aplicação e a ausência de instrumentos padronizados de avaliação conceitual restringem a

generalização dos resultados, conforme discutido em pesquisas metodológicas na área de Ensino de Física (Moreira; Rosa, 2016).

Diante dessas considerações, recomenda-se a realização de estudos futuros que ampliem a amostra investigada, utilizem instrumentos de avaliação conceitual validados e explorem a aplicação da proposta em diferentes contextos escolares. Investigações de maior duração também podem contribuir para analisar a consolidação dos conceitos trabalhados e o impacto da metodologia na aprendizagem a médio e longo prazo. Ainda assim, os resultados apresentados indicam que a proposta possui potencial pedagógico relevante, reforçando a pertinência do uso de modelos analógicos integrados a metodologias ativas para o ensino de conceitos complexos da Física Moderna no ensino médio.

Referências Bibliográficas

- ARRUDA, Rodrigo Sinigaglia. O não lugar da Física Moderna na BNCC: a construção de redes temáticas e a interdisciplinaridade. *Revista Prática Docente*, v. 7, n. 1, 2022.
- ARAÚJO, A. V. R. et al. Uma associação do método *Peer Instrução* com circuitos elétricos em contextos de aprendizagem ativa. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 39, n. 2, 2017.
- BOZELLI, Fernanda Cátia; NARDI, Roberto. O uso de analogias no ensino de física: interpretações sobre os discursos do professor e dos alunos. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 6, n. 3, 2006.
- BRASIL. Base Nacional Comum Curricular: Ensino Médio. Brasília: MEC, 2017. Disponível em: https://www.gov.br/mec/pt-br/cne/bncc_ensino_medio.pdf
- JANUÁRIO, Maria Derlandia de Araújo; HOERNIG, André Felipe; MASSONI, Neusa Teresinha. Tendências atuais sobre o ensino de Física Moderna: uma revisão de literatura. *Revista Educar Mais*, v. 8, 2024.
- JUNGER, A. P.; FERRAZ, A. C.; VILELA, J. L. L. A utilização do Peer Instruction no ensino de Física Moderna no Ensino Médio como sistematizador para uma aprendizagem mais significativa. *Revista Triângulo*, v. 14, n. 1, 2021.
- MOREIRA, Marco Antonio. Desafios no ensino da Física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 43, supl. 1, 2021.
- MOREIRA, Marco Antonio; ROSA, Paulo Ricardo da Silva. Pesquisa em ensino: métodos qualitativos e quantitativos. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 38, n. 1, 2016.
- MÜLLER, Maykon Gonçalves et al. Uma revisão da literatura acerca da implementação da metodologia interativa de ensino Peer Instruction (1991–2015). *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 39, n. 3, 2017.

SCHINZEL, G. H. et al. Buracos negros: uma proposta de sequência didática em forma de UEPS para o Ensino Fundamental e Médio. *Revista do Professor de Física*, v. 41, 2019.

PADILHA JÚNIOR, A. A.; NETO, M. J. S. Aprendizagem de Física no Ensino Médio por meio do Peer Instruction. *Revista do Professor de Física*, v. 6, número especial, 2022.

PETTER, Aline Aparecida. Inovação didática no ensino de Física: um estudo sobre a adoção do método Peer Instruction pelos alunos de Mestrados Profissionais em Ensino no Brasil. 2021. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.