

Guia Didático para o Professor

UM ANÁLOGO DE BURACOS NEGROS

**EXPLORANDO CONCEITOS BÁSICOS DE
RELATIVIDADE GERAL POR MEIO DO
PEER INSTRUCTION**

Autores: Eliabe Rafael Figueira Cardoso e José Anglada Rivera

Ficha Catalográfica

Biblioteca do IFAM – Campus Manaus Centro

C268g Cardoso, Eliabe Rafael Figueira.

Guia didático para o professor – um análogo de buracos negros: explorando conceitos básicos de relatividade geral por meio de Peer Instruction / Eliabe Rafael Figueira Cardoso, José Anglada Rivera. – Manaus, 2026.
68 p. : il. color.

Produto educacional proveniente da dissertação - Uso de um análogo mecânico de buracos negros associado a metodologia Peer Instruction no ensino de conceitos de relatividade geral Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física). – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, *Campus* Manaus Centro; Universidade Federal do Amazonas, 2026.
ISBN 978-65-83758-45-3

1. Análogo mecânico. 2. Buracos Negros. 3. Peer Instruction. 4. Relatividade geral. I. Rivera, José Anglada. I. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas. II. Universidade Federal do Amazonas. III. Título.

CDD 530.11

Elaborada por Márcia Auzier CRB 11/597

Autores:

Eliabe Rafael Figueira Cardoso

E-mail: figueiraeliabe@gmail.com

Prof. Dr. José Anglada Rivera

E-mail: jose.anglada@ifam.edu.br

Projeto gráfico e diagramação:

Eliabe Rafael Figueira Cardoso

Imagens:

CANVA



Apoio:



Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus, em quem creio de forma genuína, por me conceder forças, discernimento e perseverança ao longo de toda essa caminhada.

Aos meus pais, Benedita Figueira e José Ribamar (in memoriam), expresso minha profunda gratidão pelo apoio, incentivo e por acreditarem na importância da minha formação; este trabalho também é uma forma de honrar a memória e o sonho de meu pai. Ao meu irmão Samuel, agradeço pelo companheirismo, incentivo constante e pela ajuda nas revisões gramaticais deste trabalho.

Ao meu orientador e autor, professor José Anglada, registro minhas sinceras gratidão pelas orientações claras, pela confiança e pela autonomia concedida durante o desenvolvimento da pesquisa.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de financiamento 001. Agradeço à CAPES, instituição fundamental para o fortalecimento da pós-graduação e da pesquisa científica no Brasil, a qual desempenha um papel decisivo na formação de pesquisadores.

Por fim, a Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado do Amazonas - FAPEAM, pelo apoio financeiro que possibilitou a realização desta pesquisa.

Ficha Técnica

Origem do Produto:

Este produto educacional intitulado "Método Peer Instruction no estudo de conceitos básico de Relatividade Geral" foi desenvolvido a partir da dissertação "Uso de um análogo mecânico de Buracos Negros associado a metodologia Peer Instruction no ensino de conceitos de Relatividade Geral" no Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), do Instituto e Universidade Federal do Amazonas (IFAM/UFAM).

Área de Conhecimento:

Ensino.

Categoria deste Produto:

Guia didático/instrucional.

Finalidade:

Contribuir com o ensino-aprendizagem de Relatividade Geral por meio de um análogo de buracos negros e o uso da metodologia Peer Instruction.

Público-Alvo:

Professores do Ensino Médio

Organização do Produto:

Este produto está dividido em 2 etapas: 1) fundamentação teórica visando o alinhamento das práticas de ensino de Relatividade Geral com os documentos oficiais para a Educação Básica no Brasil e as estratégias de ensino que visam nortear os professores; 2) Planejamento da proposta, sistematização dos conteúdos, estrutura das aulas, instrução do uso do PI em sala de aula, avaliação e sugestões de atividades.

Avaliação:

A avaliação do produto foi realizada primeiramente por um comitê ad hoc, formado por 5 professores de Física atuantes no Ensino Médio, sendo três com titulação de mestre e dois especialistas, todos com experiência em ensino de Ciências e familiaridade com metodologias ativas e/ou conteúdos de Física Moderna. Em seguida foi aplicado em duas turmas da 3ª série do Ensino Médio, totalizando 40 participantes. Também foi Aprovado pelo CEP/CONEP N°. do Parecer: 7.896.807

Divulgação:

Digital disponível em MNPEF (<https://www1.fisica.org.br/mnpef/repositorio/produtos-educacionais>)

Apoio Financeiro:

Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas - FAPEAM.

Cidade:

Manaus-AM

Idioma:

Português.

Ano:

2026.

Apresentação

Prezado(a) professor(a),

É com grande satisfação que apresentamos este guia didático, fruto de uma pesquisa de mestrado em Ensino de Física. Este material foi cuidadosamente elaborado com o objetivo de inovar a abordagem de temas complexos e, por vezes, distantes do cotidiano dos estudantes, como o fascinante universo dos buracos negros.

A proposta pedagógica aqui contida visa transcender o ensino tradicional, incentivando os alunos do ensino médio a se tornarem protagonistas de seu próprio aprendizado. Para isso, o método de Peer Instruction foi escolhido como pilar central, promovendo a interação e a construção coletiva do conhecimento por meio de discussões entre os pares.

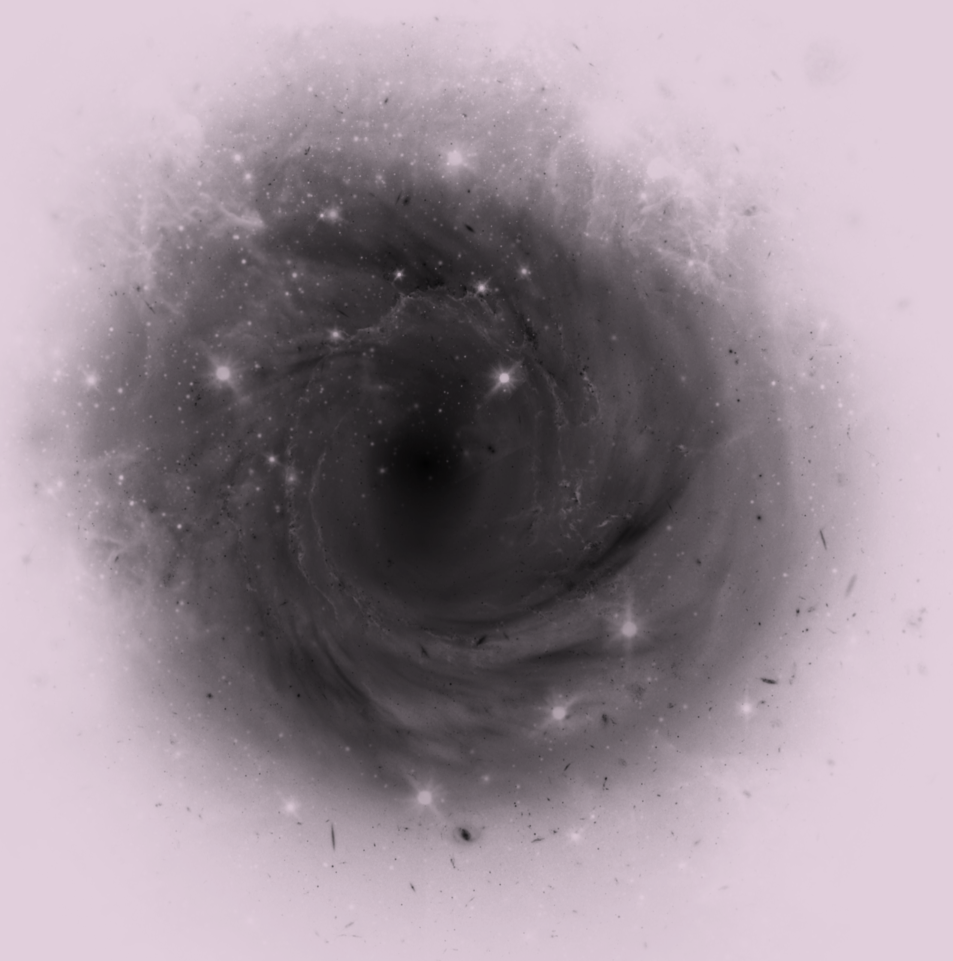
A sequência didática proposta neste guia, é estruturada em seis aulas para guiar os estudantes em uma jornada de descoberta, partindo da contextualização e despertando a curiosidade, passando pela compreensão dos conceitos fundamentais da Relatividade Geral e da física por trás da formação de Buracos Negros, até a aplicação do conhecimento em atividades avaliativas e reflexivas.

Esta guia didático é um convite à reflexão sobre novas práticas de ensino, que buscam engajar, motivar e, acima de tudo, capacitar os estudantes a pensar criticamente e a construir sua própria visão de mundo, utilizando a ciência como ferramenta para desvendá-lo.

Esperamos que este trabalho possa servir como inspiração e recurso valioso para educadores que, como nós, acreditam no potencial transformador de uma educação que coloca o aluno no centro do processo de ensino e aprendizagem.

Sumário

Introdução	7
Capítulo 1: Metodologias Ativas	9
Capítulo 2: Metodologia Peer Instruction	12
Capítulo 3: Concept Questions.....	19
Capítulo 4: Buracos Negros	24
Capítulo 5: Relatividade Geral	30
Capítulo 6: Sequência Didática	33
Considerações Finais	43
Apêndices	45
Referências Bibliográficas	66



INTRODUÇÃO

O presente produto, desenvolvido no âmbito do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), tem como cerne a busca por abordagens pedagógicas inovadoras que tornem conceitos complexos da física moderna mais acessíveis e estimulantes para os estudantes do ensino médio. O problema de pesquisa central reside na dificuldade intrínseca de ensinar a Teoria da Relatividade Geral de Albert Einstein, um conteúdo que, embora proposto na Base Nacional Comum Curricular (BNCC), raramente integra o currículo regular de forma aprofundada.

Nesse contexto, este guia didático, intitulado "O Método Peer Instruction no estudo de conceitos básicos de Relatividade Geral: Um análogo dos Buracos Negros", surge como um produto educacional concebido para enfrentar esse desafio. Ele se propõe a ser uma ferramenta de apoio para professores que desejam introduzir o tema dos buracos negros e a curvatura do espaço-tempo de maneira interativa e significativa. A relevância deste material reside na sua proposta de superar a tradicional memorização de fórmulas, ao empregar a metodologia de Peer Instruction, um método que coloca o estudante no centro do processo de aprendizagem, promovendo a discussão, o raciocínio crítico e a construção coletiva do conhecimento. Com o auxílio de um análogo mecânico de baixo custo e o uso estratégico de testes conceituais, este guia oferece um roteiro prático e inovador, alinhado às competências e habilidades da BNCC, visando transformar a experiência de ensino e aprendizagem da Física em algo mais engajador e concreto.

Capítulo 1

METODOLOGIAS ATIVAS

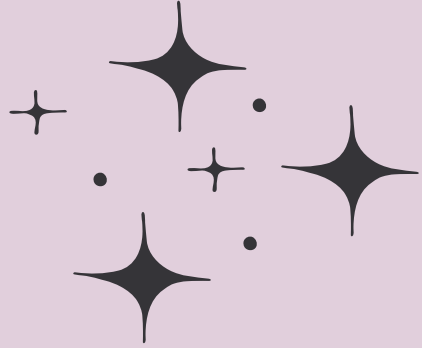


As Metodologias Ativas tem raízes no início do século XX, com influência do filósofo John Dewey (1978), que defendia uma educação baseada na experiência. Demoradamente, a sala de aula foi marcada por metodologias tradicionais, nas quais o professor ocupava o centro do processo educativo, transmitindo conhecimento enquanto o aluno assumia um papel passivo, apenas recebendo as informações, nesse processo o professor apresentava o conteúdo de forma pronta, e os alunos se limitavam a reproduzir o que era solicitado, sem espaço para participação ativa ou construção crítica do conhecimento (STUDART, 2019).

Há cerca de 40 anos, as MA emergiu no Brasil como uma resposta ao modelo tradicional de ensino, impulsionada por avanços nas pesquisas construtivistas e interacionistas, com o objetivo de fortalecer a aprendizagem significativa. Diversos pesquisadores destacam que essa abordagem tem suas bases nas teorias de Vygotsky (1896-1934), Ausubel (1918-2008), Paulo Freire (1921-1997) e outros, que defendiam o aluno como protagonista do processo de aprendizagem e o professor como mediador. Segundo esses teóricos, quanto mais ativo o aluno for em seu processo de ensino e aprendizagem, melhores serão os resultados. Assim, aumentaram as investigações sobre metodologias que promovem a atuação do aluno como agente ativo, dando origem às metodologias ativas (SANTOS et al., 2020).

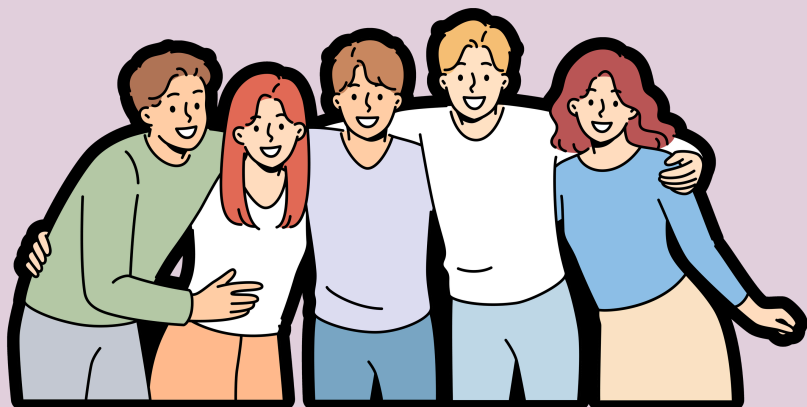
Segundo Santos et al. (2020), as concepções de Vygotsky estão presentes nas metodologias ativas, pois valorizam a relação não hierárquica e as interações sociais entre professor e aluno em sala de aula. Isso estimula o estudante a expressar suas opiniões, ouvir os outros e construir conhecimento de forma colaborativa com seus colegas, destacando o interacionismo no processo de aprendizagem. Da mesma forma, as estratégias ativas refletem as ideias do psicólogo David Ausubel, que defende que a aprendizagem é significativa "apenas quando os conteúdos escolares estão relacionados a conhecimentos prévios do estudante" (SANTOS et al., p. 73, 2020).

Capítulo 2



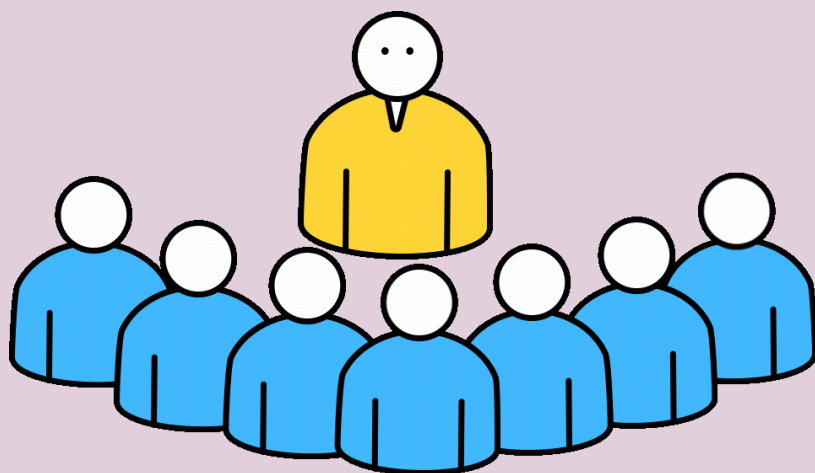
METODOLOGIA PEER INSTRUCTION





O método proposto por Eric Mazur, conhecido como Peer Instruction (Instrução por Pares), visa transformar a dinâmica das salas de aula, substituindo o modelo tradicional de aulas expositivas por uma abordagem mais interativa e centrada no aluno. O método foi desenvolvido por Mazur após ele perceber que seus alunos, apesar de se saírem bem em problemas quantitativos, tinham dificuldades em compreender conceitos básicos da física, isso o levou a questionar a eficácia do ensino tradicional, que prioriza a memorização de fórmulas e a resolução de problemas numéricos em detrimento da compreensão conceitual. A partir dessa reflexão, Mazur desenvolveu um método que incentiva os alunos a pensar criticamente e a discutir conceitos entre si, promovendo uma aprendizagem mais profunda e significativa (MAZUR, 1997).

O núcleo da PI é a utilização de testes conceituais durante as aulas que consistem em questões de múltipla escolha que abordam conceitos fundamentais da física. O processo é dividido em etapas: o professor faz uma breve exposição do conteúdo, apresenta um teste conceitual, os alunos respondem individualmente, discutem suas respostas com colegas e, finalmente, o professor explica a resposta correta (MAZUR, 1997). Esse ciclo de discussão e reflexão permite que os alunos confrontem suas ideias e concepções errôneas, promovendo uma compreensão mais sólida dos conceitos.





Mazur enfatiza que a PI não exige grandes investimentos tecnológicos ou mudanças radicais no currículo pois pode ser implementado com recursos simples, como cartões de resposta ou sistemas de votação eletrônica. Além disso, seu livro *Peer Instruction: A User's Manual* oferece uma série de recursos práticos, incluindo testes conceituais, questões de exames e testes de leitura, o qual embasou este trabalho.

O autor recomenda que os professores adotem a PI de forma gradual, começando com pequenas mudanças em suas aulas e avaliando os resultados. Ele também sugere que os professores motivem os alunos a ler o material antes das aulas, utilizando testes de leitura para garantir que os estudantes cheguem preparados para as discussões em sala. Além disso, ele enfatiza a importância de incluir questões conceituais nos exames, para reforçar a filosofia da PI e garantir que os alunos levem a sério a compreensão dos conceitos.

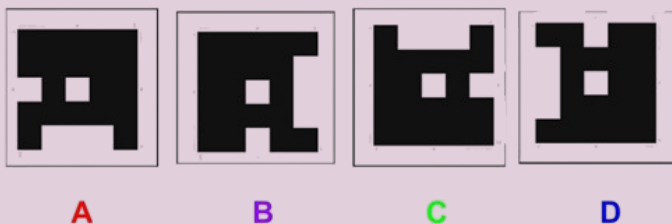
Plickers



Fonte: datarep

Para coletar as respostas dos alunos durante a aplicação do método Peer Instruction, você pode usar uma variedade de técnicas, desde métodos de baixa tecnologia até ferramentas digitais. A escolha do método depende da sua preferência, do número de alunos e dos recursos disponíveis. Em nosso trabalho, utilizamos o app Plickers, uma ferramenta muito prática para coletar respostas em sala de aula, pois combina a simplicidade de cartões de papel com a tecnologia de um smartphone ou tablet. Ele permite que você faça enquetes e perguntas de múltipla escolha sem a necessidade de um dispositivo para cada aluno.

Plickers



Fonte: Gopher Sport

Preparação (Antes da aula):

- Acesse o site: <https://www.plickers.com/signup>
- Crie sua conta: Acesse o site do Plickers e crie uma conta gratuita.
- Adicione sua turma: Na sua conta, crie uma ou mais turmas. Você pode adicionar os nomes dos seus alunos a essas turmas.
- Imprima os cartões: O Plickers gera um conjunto de cartões com um código QR único para cada aluno (geralmente numerado de 1 a 40). Imprima esses cartões. Cada cartão tem quatro lados, cada um representando uma opção de resposta (A, B, C, D). A resposta é determinada pela orientação do cartão.
- Crie as perguntas: No site ou no aplicativo, crie as perguntas de múltipla escolha (Concept Questions) que você planeja usar na aula. Você pode associá-las à turma que irá aplicá-las.

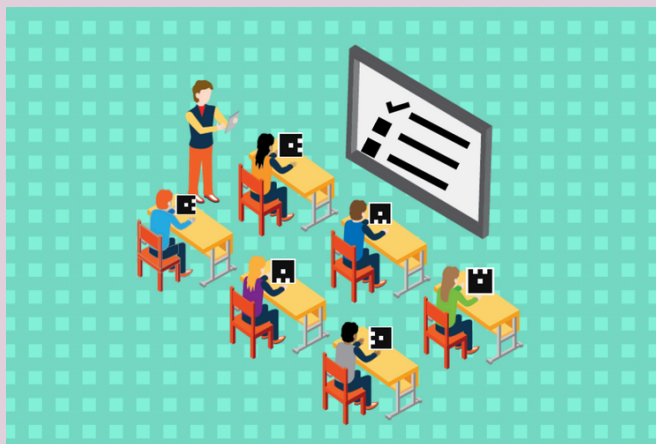
Layout inicial



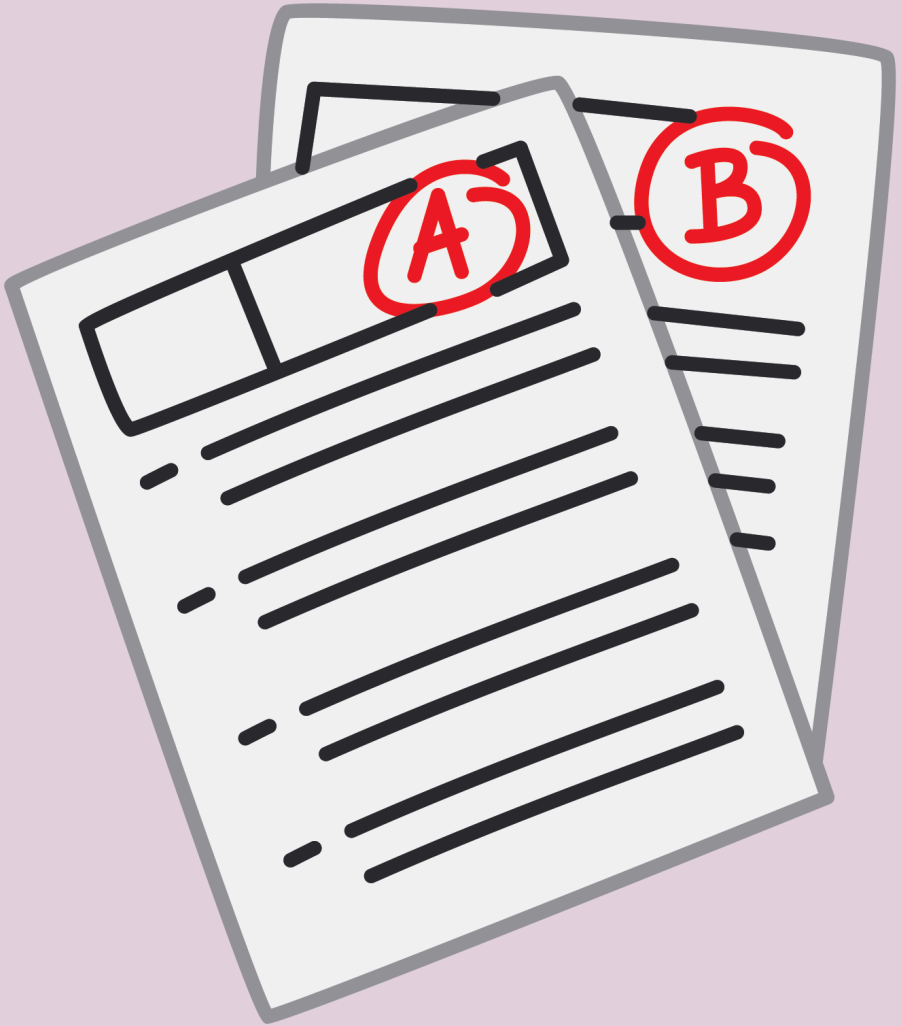
Fonte: autoria própria

Aplicação (Durante a aula):

- Distribua os cartões: Entregue a cada aluno um cartão numerado. O número do cartão deve corresponder ao seu nome na sua lista de turma no Plickers.
- Apresente a pergunta: Projete a Concept Question na tela para que todos os alunos possam vê-la.
- Peça para os alunos responderem: Os alunos devem escolher a resposta e levantar o cartão com a letra da sua escolha (A, B, C ou D) voltada para cima. A resposta correta não é visível para os outros, pois eles apenas veem o código QR.
- Colete as respostas: Usando o aplicativo Plickers no seu smartphone ou tablet, selecione a turma e a pergunta que está sendo feita. Aponte a câmera do seu dispositivo para a turma. O aplicativo escaneará os cartões levantados e identificará as respostas de cada aluno em tempo real.
- Exiba os resultados: Assim que você escanear os cartões, o aplicativo mostrará um gráfico com a distribuição das respostas da turma, sem revelar quem respondeu o quê. Isso permite que você avalie o entendimento da turma imediatamente.



Capítulo 4



CONCEPT QUESTIONS

Segundo Eric Mazur (1997), professor de Física em Harvard e criador da metodologia Peer Instruction, as questões conceituais (concept questions) são o cerne dessa abordagem de ensino. Elas são questões de múltipla escolha que têm como principal objetivo avaliar a compreensão dos alunos sobre conceitos fundamentais, e não apenas sua capacidade de memorizar fórmulas ou aplicar algoritmos.

- **Foco no conceito:** O principal diferencial é que elas não exigem cálculos complexos ou a memorização de equações. Em vez disso, focam em um único conceito-chave por vez, desafiando os alunos a aplicar a compreensão teórica a uma situação.
- **Múltipla escolha com distratores:** As questões são de múltipla escolha, mas as alternativas incorretas (distratores) são cuidadosamente elaboradas para representar erros conceituais comuns que os alunos costumam ter. Isso ajuda a identificar mal-entendidos específicos.
- **Não ambiguidade:** A questão deve ser clara e direta, sem dar margem a diferentes interpretações.
- **Dificuldade equilibrada:** Não devem ser muito fáceis nem excessivamente difíceis. O ideal é que a porcentagem de acertos iniciais esteja entre 30% e 70%, o que estimula a discussão.

Como elaborar testes conceituais?

Antes de começar a escrever, tenha em mente:

- **Avaliar a compreensão:** O objetivo primário é verificar se os alunos realmente entenderam o conceito, não se eles conseguem resolver um problema complexo.
- **Identificar equívocos:** Os distratores (opções incorretas) devem ser projetados para revelar mal-entendidos comuns.
- **Estimular a discussão:** A questão deve ser desafiadora o suficiente para gerar debate entre os alunos, mas não tão difícil que ninguém saiba o que fazer.
- **Foco em um único conceito:** Cada pergunta deve testar a compreensão de um conceito fundamental específico.

Antes de elaborar

- Revise o material que os alunos deverão estudar.
- Identifique os pontos mais difíceis ou os conceitos que os alunos historicamente têm mais dificuldade em compreender.
- Pense em analogias, situações do dia a dia ou cenários que possam ilustrar esse conceito.
- A pergunta deve ser formulada de forma clara, direta e concisa. Evite jargões desnecessários ou frases ambíguas.
- A questão não deve exigir cálculos demorados ou complexos. Se um cálculo for necessário, ele deve ser simples e servir apenas para ilustrar o conceito.
- Apresente o conceito dentro de um cenário ou problema concreto que o aluno possa visualizar.

Questões conceituais no Peer Instruction

As questões conceituais (concept question) são fundamentais na dinâmica da sala de aula na metodologia Peer Instruction:

Mini-Exposição: O professor apresenta um conceito de forma breve (7 a 10 minutos), sem entrar em detalhes excessivos ou deduções que já estejam disponíveis no material de estudo prévio.

Resposta individual: Em seguida, o professor projeta uma Concept question. Os alunos primeiro pensam individualmente e registram suas respostas (usando cards ou aplicativos). Isso os força a engajar com o material e a formar uma opinião própria. O professor verifica rapidamente a porcentagem de acertos.

Menos de 30% de acertos: Indica que o conceito não foi compreendido e o professor precisa revisitar a explicação, talvez de uma maneira diferente.

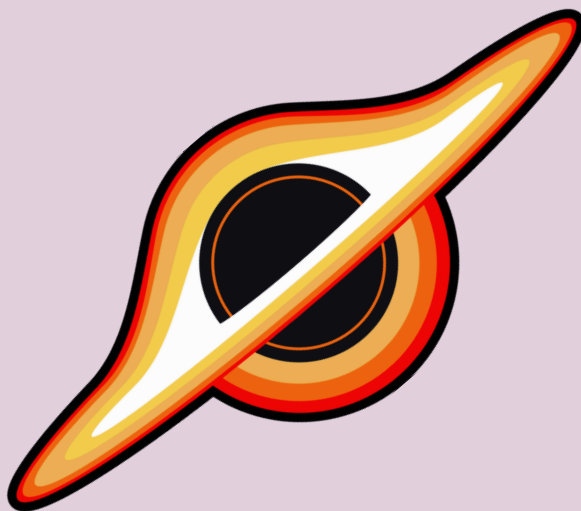
Entre 30% e 70% de acertos: É o “ponto ideal”. Nesse caso, o professor pede que os alunos discutam suas respostas com um colega (peer instruction), tentando convencer um ao outro da sua escolha.

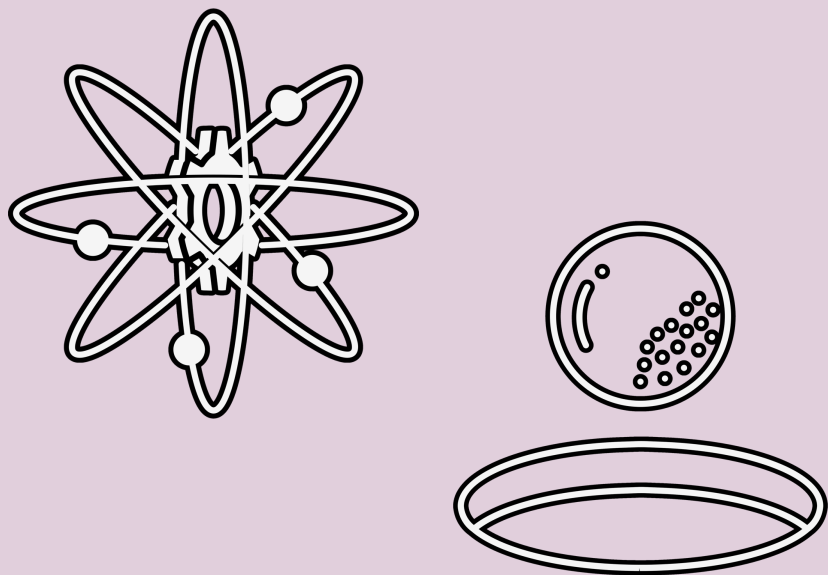
Mais de 70% de acertos: Indica que a maioria compreendeu. O professor pode dar uma breve explicação da resposta correta e seguir para o próximo tópico.

Capítulo 3

**BURACOS
NEGROS**

Os buracos negros são um dos objetos mais fascinantes e misteriosos do universo, oferecendo uma oportunidade única para introduzir conceitos fundamentais da Relatividade Geral de Albert Einstein no Ensino Médio (ALMEIDA e SOLTAU, 2022). De acordo com essa teoria, a gravidade não é uma força, como descrevia Newton na Física Clássica, mas uma curvatura no espaço-tempo causada pela presença de massa e energia assim, buracos negros, formados pelo colapso gravitacional de estrelas massivas, são regiões onde essa curvatura é tão extrema que nada, nem mesmo a luz, pode escapar (EINSTEIN, 1916), tal fenômeno desafia o conhecimento clássico e permite discutir ideias abstratas como dilatação do tempo e distorção espacial, e outros conceitos conectando a física moderna a conceitos clássicos dos estudantes.





Apesar de sua complexidade matemática, os buracos negros podem ser abordados de forma qualitativa no ensino médio (MORAIS, 2022), utilizando analogias e análogos práticos, como por exemplo, a ideia de um tecido deformado por uma bola pesada ou um funil com fluidos vazando, isto ajuda a visualizar como a massa curva o espaço-tempo ou como objetos são atraídos ao horizonte de evento, também é possível experimentos mentais como comparar o horizonte de eventos a um rio cuja correnteza se torna impossível de superar após uma certa queda d'água. Essas metáforas facilitam a compreensão de fenômenos como a singularidade, onde as leis da física convencional deixam de valer, estimulando o pensamento crítico e a curiosidade científica.

Os buracos negros, enquanto tema da Física Moderna, estão alinhados à BNCC (Base Nacional Comum Curricular) no eixo de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, especialmente na habilidade EM13CNT304, que prevê a análise de fenômenos cósmicos e tecnologias associadas à exploração espacial, como ondas gravitacionais e relatividade geral (BRASIL, 2017), ela incentiva a abordagem de conceitos que conectem a ciência contemporânea ao cotidiano, promovendo o pensamento crítico e a compreensão do universo.

No Referencial Curricular Amazonense, ressalta que, no âmbito das Ciências da Natureza e suas Tecnologias, o saber conceitual deve ser organizado por meio de princípios, teorias e representações modelares, no qual os fundamentos da investigação científica, estão intrinsecamente relacionados à construção, compreensão e utilização de modelos que explicam fenômenos da natureza e tecnologias, especificamente no ensino de Física, é essencial que os alunos desenvolvam capacidades para compreender e refletir sobre situações do dia a dia como, introdução a conceitos cosmológicos, como Buracos Negros e o Big Bang, que ajudam a explicar a formação e a evolução do Universo (AMAZONAS, 2020).

O estudo de buracos negros no Ensino Médio serve como ponte para reflexões interdisciplinares, envolvendo astronomia, filosofia e até ficção científica. Questões como “O que acontece dentro de um buraco negro?” ou “É possível viajar no tempo através deles?” incentivam debates sobre os limites do conhecimento humano e a natureza do universo. Ao contextualizar a Relatividade Geral com objetos cósmicos reais, os educadores podem despertar o interesse pela física moderna, preparando os alunos para compreender os avanços científicos do século XXI e inspirando futuros pesquisadores.



Análogo Mecânico de Buracos Negros Proposto



Fonte: Próprio autor

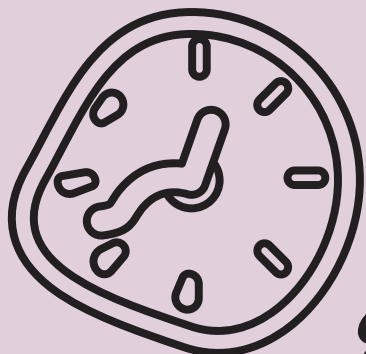
Este experimento utiliza um análogo mecânico para ilustrar características de buracos negros de forma visual e intuitiva. A analogia se baseia na similaridade entre a atração gravitacional e a força da areia que flui para um dreno. No nosso caso, o dreno atua como o “buraco negro” e a areia circulante como o “espaço-tempo”.

Materiais Necessários

- Garrafa plástica grande (recipiente superior).
- Garrafa plástica menor (recipiente inferior).
- Tubo ou mangueira.
- Estrutura de madeira para suporte.
- Areia.
- Pequenos objetos flutuantes (ex: pequenas bolinhas de isopor).

Capítulo 5

RELATIVIDADE GERAL



$$E = mc^2$$

O ESPAÇO-TEMPO

A concepção de espaço-tempo, introduzida por Albert Einstein em sua Teoria da Relatividade Geral em 1915, revolucionou o entendimento científico sobre a estrutura do universo, que muito diferente da visão newtoniana, tratava espaço e tempo como entidades absolutas e independentes, Einstein propôs que ambos estão intrinsecamente interligados, formando um contínuo quadridimensional (três dimensões espaciais e uma temporal) (EINSTEIN, 2024). Nesse modelo, a presença de massa e energia curva o espaço-tempo, alterando a trajetória de objetos e até mesmo o fluxo do tempo, tal abordagem permitiu explicar fenômenos como a órbita dos planetas e a deflexão da luz por corpos massivos, marcando um paradigma na física moderna.

A compreensão da gravidade como manifestação da curvatura do espaço-tempo constitui uma das maiores contribuições da Teoria da Relatividade Geral de Albert Einstein. Publicada em 1916, essa teoria revolucionária substituiu o conceito newtoniano de gravidade como força atrativa pela ideia de que corpos massivos deformam a estrutura quadridimensional do universo, alterando o movimento de objetos e a passagem do tempo. Essa abordagem geométrica unificou espaço e tempo em um único contínuo dinâmico, onde a trajetória dos corpos é determinada pela curvatura local do espaço-tempo, explicando fenômenos que a física clássica não conseguia abordar adequadamente (EINSTEIN, 1916).

DILATAÇÃO DO TEMPO GRAVITACIONAL

A dilatação do tempo gravitacional representa uma das previsões mais fascinantes da Teoria da Relatividade Geral de Einstein, demonstrando que o fluxo do tempo não é absoluto, mas varia de acordo com o potencial gravitacional local. Segundo esse princípio, relógios situados em regiões de maior campo gravitacional (próximos a corpos massivos) avançam mais lentamente em comparação com relógios em regiões de menor curvatura espaço-temporal. Esse efeito, inicialmente considerado contra-intuitivo, foi rigorosamente confirmado por experimentos de alta precisão e possui implicações práticas significativas em tecnologias modernas, como os sistemas de posicionamento global (GPS). Esse efeito, embora mínimo no cotidiano, é crucial para tecnologias modernas e comprova que tempo e espaço são relativos, dependendo do referencial gravitacional.

O fundamento físico da dilatação temporal gravitacional decorre diretamente do princípio de equivalência einsteiniano, que estabelece a indistinguibilidade local entre um campo gravitacional e um sistema acelerado. Matematicamente, o fenômeno é descrito pela métrica de Schwarzschild, que mostra como o intervalo de tempo próprio (τ) medido por um observador em repouso num campo gravitacional relaciona-se com o tempo coordenado (t) (EINSTEIN, 1916). Essa relação prediz que, para um observador distante, processos físicos próximos a um objeto massivo parecerão ocorrer em câmera lenta, efeito que se torna extremamente pronunciado nas proximidades de corpos compactos como estrelas de nêutrons e buracos negros.

Componente Curricular: Física

Ano/Série: 3ª Série

Duração: 6 aulas de 45min

Metodologias: Alinhamento Construtivo, Peer Instruction.

OBJETIVOS DE ENSINO:

- Introduzir conceitos básicos da Relatividade Geral por meio de um análogo de buracos negros.
- Promover a compreensão de fenômenos complexos da Física de forma acessível e interativa.
- Desenvolver o pensamento crítico e a capacidade de argumentação científica.
- Estimular o trabalho colaborativo e a autoavaliação dos estudantes.
- Conectar o conhecimento científico com a realidade e o cotidiano dos alunos.

COMPETÊNCIAS GERAIS DA EDUCAÇÃO BÁSICA:

- **Competência 01:** Valorizar e utilizar os conhecimentos historicamente construídos sobre o mundo físico, social, cultural e digital para entender e explicar a realidade, continuar aprendendo e colaborar para a construção de uma sociedade justa, democrática e inclusiva.
- **Competência 02:** Exercitar a curiosidade intelectual e recorrer à abordagem própria das ciências, incluindo a investigação, a reflexão, a análise crítica, a imaginação e a criatividade, para investigar causas, elaborar e testar hipóteses, formular e resolver problemas e criar soluções (inclusive tecnológicas) com base nos conhecimentos das diferentes áreas.

COMPETÊNCIAS ESPECÍFICAS DE CIÊNCIAS DA NATUREZA E SUAS TECNOLOGIAS PARA O ENSINO MÉDIO:

Competência 1: Analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas interações e relações entre matéria e energia, para propor ações individuais e coletivas que aperfeiçoem processos produtivos, minimizem impactos socioambientais e melhorem as condições de vida em âmbito local, regional e global.

Competência 2: Analisar e utilizar interpretações sobre a dinâmica da Vida, da Terra e do Cosmos para elaborar argumentos, realizar previsões sobre o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do Universo, e fundamentar e defender decisões éticas e responsáveis.

Competência 03: Investigar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza, para propor soluções que considerem demandas locais, regionais e/ou globais, e comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC).

HABILIDADES:

(EM13CNT101) Analisar e representar, com ou sem o uso de dispositivos e de aplicativos digitais específicos, as transformações e conservações em sistemas que envolvam quantidade de matéria, de energia e de movimento para realizar previsões sobre seus comportamentos em situações cotidianas e em processos produtivos.

(EM13CNT201) Analisar e discutir modelos, teorias e leis propostos em diferentes épocas e culturas para comparar distintas explicações sobre o surgimento e a evolução da Vida, da Terra e do Universo com as teorias científicas aceitas atualmente.

(EM13CNT204) Elaborar explicações, previsões e cálculos a respeito dos movimentos de objetos na Terra, no Sistema Solar e no Universo com base na análise das interações gravitacionais, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais.

(EM13CNT209) Analisar a evolução estelar associando-a aos modelos de origem e distribuição dos elementos químicos no Universo, compreendendo suas relações com as condições necessárias ao surgimento de sistemas solares e planetários, suas estruturas e composições e as possibilidades de existência de vida, utilizando representações e simulações.

ESTRUTURA DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

A sequência didática será dividida em 6 aulas, com cada etapa focando em um aspecto do tema, utilizando o método Peer Instruction para promover a interação e a construção coletiva do conhecimento e desenvolver habilidades específicas.

Aula 1:

Objetivo de Aprendizagem:

- Despertar a curiosidade sobre o universo e os fenômenos astronômicos, especialmente sobre Buracos Negros;
- Entender como se dá a formação de um buraco negro.

Habilidade:

(EM13CNT209)

Atividades de Ensino e Aprendizagem:

- Início (5min): Entregar um diário de bordo para preenchimento individual de cada aula.
- Desenvolvimento (30min): Lançar a pergunta: “O que vocês sabem sobre buracos negros? O que gostariam de saber?” para ativar o conhecimento prévio e a curiosidade. Após, aplicar um teste conceitual sobre conceitos básicos de Relatividade Geral.
- Fechamento (10min): Apresentar vídeos sobre o universo (galáxias, estrelas, formação de buracos negros). Outros vídeos podem ser enviados aos alunos para serem assistidos em casa.
- Sugestão
 1. vídeo: <https://www.youtube.com/watch?v=hwKIwHi9peU>
 2. vídeo: <https://www.youtube.com/watch?v=Jz-9bVWRfVw>

Aula 2:

Objetivo de Aprendizagem:

Analisar fenômenos relacionados aos Buracos Negros;
Conhecer características fundamentais de um buraco negro.

Habilidade:

(EM13CNT204)

Atividades de Ensino e Aprendizagem:

- **Início (15min):** Fazer uma revisão sobre os vídeos assistidos na aula anterior, destacando a formação de buracos negros. Pode-se mostrar buracos negros já nomeados.
- **Desenvolvimento (30min):** Apresentar uma Concept Question para introduzir uma discussão acerca da formação e características de um buraco negro visto no vídeo e na apresentação do professor. O professor pode utilizar slides para reforçar sua explicação sobre características de buracos negros, como: Horizonte de Eventos, Disco de Acreção; Zona de Mergulho e Singularidade, bem como utilizar o análogo mecânico para ilustrar cada característica.
- Ao aplicar a Concept Question, seguir as etapas do PI de acordo com a porcentagem de acertos:
 1. Os alunos votam individualmente. Se o número de acertos for menor que 30%, o professor faz uma nova explicação direcionada à Concept Question.
 2. Se o número de acertos for entre 30% e 70%, o professor pede para os alunos discutirem em pares, justificando suas respostas.
 3. Se o número de acertos for maior que 70%, significa que a maioria compreendeu o conceito. O professor fornece um feedback geral, esclarecendo o conceito e passa para o próximo tópico ou próxima Concept Question.

Aula 3:

Objetivos de Aprendizagem:

Revisitar o conceito de gravidade de Newton.

Introduzir a ideia de espaço-tempo e sua curvatura por massas.

Habilidade:

(EM13CNT201)

Atividades de Ensino e Aprendizagem:

- Início (15min): Resgatar o conceito de gravidade newtoniana por meio de uma breve discussão ou perguntas dirigidas para verificar os conhecimentos prévios dos alunos acerca de força gravitacional, peso, inércia, etc.
- Desenvolvimento (30min): Realizar um experimento demonstrativo utilizando o análogo mecânico para ilustrar a curvatura do espaço-tempo no qual as esferas se movimentam no vórtice do funil em direção a “singularidade”. Em seguida, apresentar uma Concept Question para desenvolvimento do conceito de Gravidade na física moderna.

IMPORTANTE: Toda vez que apresentar uma nova Concept Question, seguir as etapas do Peer Instruction, de acordo a porcentagem de acertos mencionados na aula 02.

SUGESTÃO: Deixar como tarefa de casa vídeos curtos e introdutórios sobre Relatividade Geral.

- Sugestão

1. vídeo 1: <https://www.youtube.com/watch?v=fwzzgJOLZkM>

2. vídeo 2: <https://www.youtube.com/watch?v=jYlr3G9yB8s>

3. vídeo 3: <https://www.youtube.com/watch?v=KU7l4nOQiDo>

4. vídeo 4: <https://www.youtube.com/watch?v=pF1tQzPI6vI>

Aula 4:

Objetivos de Aprendizagem:

Apresentar os postulados de Einstein para a Relatividade Geral (Princípio da Equivalência e Princípio da Covariância Geral).

Abordar, de forma qualitativa, a dilatação do tempo em campos gravitacionais fortes.

Habilidade:

(EM13CNT201)

Atividades de Ensino e Aprendizagem:

- **Início (10min):** Relembrar a curvatura do espaço-tempo e a influência da massa. Fazer perguntas relacionadas aos vídeos apresentados para assistirem em casa e caso não expressem terem assistido, colocar um dos vídeos para verem em sala.
- **Desenvolvimento (30min):** Mostrar as definições de Einstein sobre o conceito de espaço-tempo. Em seguida, aplicar de forma qualitativa em situações hipotéticas esses postulados, por exemplo, sobre a passagem do tempo perto de um buraco negro. O professor pode utilizar slides que resumam os dois postulados e fazer uma conexão com os vídeos deixados na última aula. Em seguida, apresentar uma Concept Question a cerca dos postulados e da dilatação do tempo em campos gravitacionais fortes.
- **Fechamento (5min):** Síntese dos efeitos temporais próximos a buracos negros, utilizando o análogo mecânico com as esferas se movendo no vórtice do funil ilustrando a passagem do tempo a medida que se aproxima do horizonte de eventos.

Aula 5:

Objetivo de Aprendizagem:

Explorar as características de um buraco negro real e seu análogo.

Habilidade:

(EM13CNT101)

Atividades de Ensino e Aprendizagem:

- **Início (10min):** Retomar a discussão sobre buracos negros, lançando a pergunta: “Se não podemos ir a um buraco negro, como podemos estudá-los?”.
- **Desenvolvimento (30min):** Apresentar o conceito de “análogo de buraco negro”, explicando como esses sistemas se comportam de maneira semelhante/ilustrativas a um buraco negro real em certos aspectos. Utilizar o análogo mecânico proposto. Apresentar uma Concept Question.: Exemplo: “Estudar um análogo de buraco negro é vantajoso porque...”
- Os alunos votam na sua resposta e o professor segue a estratégia do Peer Instruction.
- **Fechamento (5min):** O professor conclui essa aula falando sobre a importância dos análogos na pesquisa científica e na compreensão de fenômenos complexos.

Aula 6:

Objetivos de Aprendizagem:

Aplicar o conhecimento adquirido, em um teste conceitual.

Analisar os diários de bordo.

Sintetizar o aprendizado da sequência didática.

Habilidade:

(EM13CNT301)

Atividades de Ensino e Aprendizagem:

- Início (10min): Compartilhamento das observações e discussões em plenária. Utilizar os diários de bordo.
- Desenvolvimento (35min): Aplicação do teste conceitual.

AVALIAÇÃO SOMATIVA

A avaliação somativa se dará por meio do teste conceitual final valendo 10,0pts.

AVALIAÇÃO FORMATIVA

A avaliação formativa acontecerá durante o desenvolvimento do Peer Instruction, ao longo do processo de ensino e aprendizagem do aluno, quando forem responder as Concept Question será possível avaliar o desempenho por meio do Plickers bem como identificar as dificuldades durante as discussões em pares. Também será avaliado a discussão em plenária e anotações dos diários de bordo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS



O percurso desta pesquisa e a elaboração deste guia didático culminam na consolidação de uma proposta pedagógica sólida e aplicável para o ensino de conceitos de Relatividade Geral no ensino médio. Ao longo das seis aulas da sequência didática, o objetivo de introduzir os conceitos de buracos negros e a curvatura do espaço-tempo por meio do Peer Instruction e de um análogo mecânico mostrou-se viável e promissor. As contribuições deste guia são multifacetadas e se manifestam em diferentes níveis:

Em primeiro lugar, o material oferece um referencial teórico e prático para a implementação do Peer Instruction, detalhando as etapas e sugerindo ferramentas como o aplicativo Plickers, o que desmistifica o uso da metodologia para professores que buscam inovar em suas aulas. Em segundo lugar, o desenvolvimento do análogo mecânico de buracos negros representa uma contribuição significativa, pois oferece uma ferramenta tátil e visual para que os estudantes possam, de fato, “ver” e interagir com o fenômeno da curvatura do espaço-tempo, tornando um conceito abstrato em algo tangível. Por fim, o modelo de diário de bordo atua como uma contribuição direta para a avaliação formativa e a metacognição dos alunos, permitindo que eles reflitam sobre sua própria aprendizagem.

Esperamos que este guia didático não seja apenas um documento de pesquisa, mas uma ferramenta viva, capaz de inspirar e capacitar professores a desafiar as fronteiras do ensino tradicional de Física, fomentando uma geração de estudantes mais curiosa, crítica e entusiasmada com as maravilhas do universo.



APÊNDICES

Diário de Bordo

DIÁRIO DE BORDO DE FÍSICA

Professor: _____

Estudante: _____

Turma: _____ **Data:** _____

Número da Aula: _____

Tema da Aula: _____

Fichamento:

1. _____
2. _____
3. _____
4. _____
5. _____
6. _____
7. _____
8. _____
9. _____
10. _____

Análise das Concept Questions:

Minha resposta inicial: _____

Discussão em pares: _____

Minha nova resposta: _____

Conclusão do professor: _____

Dúvidas e Reflexões:

Concept Questions para Aula 02

1. Onde podemos encontrar a maioria dos buracos negros conhecidos no universo?

- a) Flutuando livremente no espaço vazio entre as galáxias.
- b) No centro da maioria das galáxias, incluindo a Via Láctea.
- c) Ao redor de planetas gasosos gigantes.
- d) Principalmente dentro de nebulosas de gás e poeira.

Resposta correta: b) No centro da maioria das galáxias, incluindo a Via Láctea.

Sugestão de discussão para o professor: Esta pergunta visa ativar o conhecimento prévio dos alunos sobre a estrutura do universo e galáxias. A discussão deve focar na ideia de que buracos negros supermassivos são componentes comuns nos centros galácticos, como Sagitário A* na nossa Via Láctea. Pode-se questionar por que eles estariam ali (grande concentração de massa) e se todos os buracos negros são supermassivos.

2. Qual é a principal característica que define um buraco negro e o torna tão misterioso?

- a) Sua cor escura e brilhante.
- b) A capacidade de viajar no tempo.
- c) Sua gravidade é tão intensa que nada, nem mesmo a luz, pode escapar.
- d) Eles emitem ondas sonoras muito fortes.

Resposta correta: c) Sua gravidade é tão intensa que nada, nem mesmo a luz, pode escapar.

Sugestão de discussão para o professor: Essa é uma pergunta fundamental para introduzir o conceito central de um buraco negro: o horizonte de eventos e a fuga da luz. A discussão deve esclarecer que a cor escura não é intrínseca, mas sim devido à ausência de luz que se propaga dele, e desmistificar ideias fantasiosas sobre viagens no tempo ou sons no vácuo.

3. Qual tipo de objeto celeste é o estágio final da vida de uma estrela de massa muito alta, que pode levar à formação de um buraco negro?

- a) Anã branca.
- b) Estrela de nêutrons.
- c) Supernova.
- d) Nebulosa planetária.

Resposta correta: b) Estrela de nêutrons.

Sugestão de discussão para o professor: Esta pergunta explora a sequência de eventos estelares. É importante diferenciar a supernova (o evento explosivo) do remanescente (estrela de nêutrons ou buraco negro). O professor pode guiar a discussão sobre a relação entre a massa da estrela original e o tipo de remanescente (anã branca para estrelas de baixa massa, estrela de nêutrons para médias, buraco negro para altas).

4. O que acontece com o núcleo de uma estrela massiva imediatamente antes de ela colapsar e formar um buraco negro?

- a) Ele se expande e se resfria.
- b) Ele começa a fundir elementos mais leves como hidrogênio e hélio.
- c) Ele sofre um colapso gravitacional rápido e se torna extremamente denso.
- d) Ele se desintegra completamente em partículas elementares.

Resposta correta: c) Ele sofre um colapso gravitacional rápido e se torna extremamente denso.

Sugestão de discussão para o professor: Esta questão foca no processo imediato de formação. A discussão deve enfatizar o papel da gravidade em superar a pressão interna que sustentava a estrela. “Desintegrar” ou “expandir” são distratores que representam o oposto do colapso.

5. Por que os buracos negros “normais” (estelares) são tão difíceis de observar diretamente?

- a) Eles são muito pequenos.
- b) Eles se movem muito rapidamente.
- c) Não emitem nem refletem luz.
- d) Estão sempre cobertos por nuvens de poeira cósmica.

Resposta correta: c) Não emitem nem refletem luz.

Sugestão de discussão para o professor: Esta pergunta aborda a dificuldade de detecção. O professor pode discutir as formas indiretas de detecção (efeitos gravitacionais em estrelas próximas, emissão de raios-X de material caindo). A discussão deve reforçar o conceito de que, embora pequenos em comparação com estrelas, o principal problema é a ausência de luz.

6. Quando uma estrela massiva esgota seu “combustível” nuclear, qual força se torna dominante e faz com que ela comece a colapsar?

- a) Força eletromagnética.
- b) Força nuclear forte.
- c) Força gravitacional.
- d) Força de repulsão quântica.

Resposta correta: c) Força gravitacional.

Sugestão de discussão para o professor: Essa pergunta é essencial para entender a dinâmica de formação. A discussão deve explicar que enquanto a estrela está ativa, a pressão da fusão nuclear equilibra a gravidade. Quando o combustível acaba, a gravidade vence, levando ao colapso.

7. O que é o “horizonte de eventos” de um buraco negro?

- a) A superfície sólida do buraco negro.
- b) O ponto a partir do qual nada, nem mesmo a luz, pode escapar da gravidade do buraco negro.
- c) A região onde novas estrelas estão nascendo.
- d) Uma órbita segura ao redor do buraco negro.

Resposta correta: b) O ponto a partir do qual nada, nem mesmo a luz, pode escapar da gravidade do buraco negro.

Sugestão de discussão para o professor: Esta é uma das definições mais importantes para buracos negros. A discussão deve enfatizar que não é uma superfície física, mas sim um limite sem retorno determinado pela intensidade da gravidade. Pode-se usar analogias, como a de uma cachoeira onde a água se move tão rápido que um barco não consegue mais remar contra a corrente.

8. Por que é fundamental para a formação de um buraco negro que a estrela original seja massiva?

- a) Estrelas massivas brilham mais forte e vivem mais tempo.
- b) Apenas estrelas massivas possuem hidrogênio suficiente para queimar.
- c) Somente estrelas com grande massa possuem gravidade interna forte o suficiente para superar a pressão e colapsar completamente após a morte.
- d) Estrelas massivas são as únicas que podem formar planetas.

Resposta correta: c) Somente estrelas com grande massa possuem gravidade interna forte o suficiente para superar a pressão e colapsar completamente após a morte.

Sugestão de discussão para o professor: A massa é o fator determinante. A discussão deve reforçar que estrelas menos massivas, como o Sol, não têm gravidade interna suficiente para continuar o colapso além de um certo ponto, formando anãs brancas ou estrelas de nêutrons, que possuem outros mecanismos de pressão para se sustentar.

9. Se você observasse uma pessoa caindo em um buraco negro, de uma distância segura, o que você veria acontecer com ela à medida que se aproxima do horizonte de eventos?

- a) Ela desapareceria instantaneamente.
- b) Ela ficaria mais brilhante e aceleraria rapidamente.
- c) Ela pareceria desacelerar e sua imagem se “congelaria” antes de cruzar o horizonte de eventos.
- d) Ela mudaria de cor para vermelho.

Resposta correta: c) Ela pareceria desacelerar e sua imagem se “congelaria” antes de cruzar o horizonte de eventos.

Sugestão de discussão para o professor: Esta é uma questão sobre a dilatação gravitacional do tempo (abordada na Aula 4 do da SEA). A discussão deve explicar que, para um observador externo, o tempo parece desacelerar para quem está caindo, e a luz emitida pelo objeto se torna cada vez mais avermelhada (desvio para o vermelho gravitacional) até desaparecer.

10. Qual a principal diferença entre um buraco negro estelar e um buraco negro supermassivo?

- a) Buracos negros estelares são muito mais antigos que os supermassivos.
- b) A massa: buracos negros supermassivos possuem milhões ou bilhões de vezes a massa do Sol, enquanto os estelares possuem algumas dezenas de massas solares.
- c) Buracos negros estelares emitem mais radiação.
- d) Apenas buracos negros supermassivos são formados a partir do colapso de estrelas.

Resposta correta: b) A massa: buracos negros supermassivos possuem milhões ou bilhões de vezes a massa do Sol, enquanto os estelares possuem algumas dezenas de massas solares.

Sugestão de discussão para o professor: Esta pergunta visa consolidar a compreensão sobre os diferentes tipos de buracos negros. A discussão deve focar na diferença de massa e, possivelmente, nas diferentes teorias de formação (estrelas massivas para estelares vs. acumulação de gás/fusão para supermassivos). O distrator “d” pode ser usado para reforçar que buracos negros estelares são formados por estrelas.

Concept Questions para Aula 03

1. De acordo com a Lei da Gravitação Universal de Isaac Newton, o que acontece com a força gravitacional entre dois objetos se a distância entre eles dobrar?

- a) A força quadruplica.
- b) A força dobra.
- c) A força reduz-se pela metade.
- d) A força reduz-se a um quarto do valor original.

Resposta correta: d) A força reduz-se a um quarto do valor original.

Sugestão de discussão para o professor: A discussão deve reforçar que a gravidade newtoniana é uma força de atração que diminui rapidamente com o aumento da distância.

2. Qual das seguintes afirmações melhor descreve a gravidade segundo Isaac Newton?

- a) É uma força de atração entre corpos com massa, que age instantaneamente a distância.
- b) É uma distorção no tecido do espaço-tempo causada pela presença de massa.
- c) É uma energia que empurra os objetos uns para longe dos outros.
- d) É uma ilusão causada pelo movimento dos planetas.

Resposta correta: a) É uma força de atração entre corpos com massa, que age instantaneamente a distância.

Sugestão de discussão para o professor: Esta questão diferencia a visão newtoniana da visão da Relatividade Geral. A discussão deve focar na “ação à distância” de Newton e na ideia de que a gravidade é uma força em sua teoria, contrastando com a curvatura do espaço-tempo que virá a seguir.

3. Imagine que você joga uma bola para cima. Segundo a gravidade de Newton, o que faz a bola cair de volta para a Terra?

- a) A bola se choca com o teto invisível da atmosfera.
- b) A Terra exerce uma força de atração sobre a bola.
- c) A bola perde sua energia de movimento e desintegra.
- d) O espaço-tempo está curvo ao redor da Terra, e a bola segue essa curvatura.

Resposta correta: b) A Terra exerce uma força de atração sobre a bola.

Sugestão de discussão para o professor: A discussão deve se concentrar na ideia de que a Terra “puxa” a bola, e não em outras explicações alternativas. O distrator “d” já introduz a ideia da Relatividade, preparando o terreno para a próxima parte da aula.

4. A ideia de que “massas curvam o espaço-tempo” é central para qual teoria da gravidade?

- a) Lei da Gravitação Universal de Newton.
- b) Teoria da Relatividade Especial de Einstein.
- c) Teoria da Relatividade Geral de Einstein.
- d) Teoria do Big Bang.

Resposta Correta: c) Teoria da Relatividade Geral de Einstein.

Sugestão de discussão para o professor: Esta pergunta introduz o conceito-chave da Relatividade Geral. A discussão deve esclarecer que a Relatividade Especial lida com movimento em velocidades próximas à luz, mas não com gravidade.

5. Se o espaço-tempo é como um “tecido” flexível, o que causaria uma “curvatura” nesse tecido?

- a) A presença de energia escura.
- b) A velocidade de um objeto em movimento.
- c) A presença de massa e energia.
- d) A expansão do universo.

Resposta correta: c) A presença de massa e energia.

Sugestão de discussão para o professor: Esta questão usa a analogia do “tecido” do espaço-tempo. É importante que os alunos compreendam que não é apenas a massa, mas também a energia que contribui para essa curvatura. O professor pode usar o análogo mecânico para ilustrar.

6. Como a curvatura do espaço-tempo explica a órbita da Terra ao redor do Sol, segundo a Relatividade Geral?

- a) O Sol puxa a Terra diretamente com uma força gravitacional.
- b) A Terra está seguindo uma "linha reta" em um espaço-tempo curvo causado pelo Sol.
- c) A Terra é empurrada pelo vento solar.
- d) Existe uma corda invisível ligando a Terra ao Sol.

Resposta correta: b) A Terra está seguindo uma "linha reta" em um espaço-tempo curvo causado pelo Sol.

Sugestão de discussão para o professor: Esta é uma questão crucial para a mudança de paradigma da gravidade. A discussão deve enfatizar que, na Relatividade Geral, a órbita não é resultado de uma força, mas sim do caminho mais curto (geodésica) que um objeto percorre em um espaço-tempo deformado pela massa do Sol.

7. Se um buraco negro é extremamente massivo, como ele afeta o espaço e o tempo em suas proximidades, de acordo com a Relatividade Geral?

- a) Apenas o espaço é afetado, esticando-se infinitamente.
- b) Apenas o tempo é afetado, acelerando para longe do buraco negro.
- c) Tanto o espaço quanto o tempo são dramaticamente curvados e distorcidos.
- d) Não há efeito no espaço-tempo, apenas um grande campo magnético.

Resposta correta: c) Tanto o espaço quanto o tempo são dramaticamente curvados e distorcidos.

Sugestão de discussão para o professor: Esta pergunta conecta a curvatura do espaço-tempo aos buracos negros. A discussão deve salientar a magnitude dessa distorção e como ela leva a fenômenos como a dilatação do tempo gravitacional e a impossibilidade de escape da luz.

8. Por que a luz se curva quando passa perto de uma estrela massiva, segundo a Relatividade Geral?

- a) A luz tem massa e é puxada pela gravidade da estrela.
- b) A luz colide com partículas na atmosfera da estrela.
- c) A estrela deforma o espaço-tempo ao seu redor, e a luz segue a curvatura desse espaço-tempo.
- d) A luz é atraída por campos magnéticos da estrela.

Resposta correta: c) A estrela deforma o espaço-tempo ao seu redor, e a luz segue a curvatura desse espaço-tempo.

Sugestão de discussão para o professor: Esta questão aborda um dos testes clássicos da Relatividade Geral (deflexão da luz). A discussão deve esclarecer que a luz, embora não tenha massa de repouso, é afetada pela curvatura do espaço-tempo. Isso contrasta com a gravidade newtoniana que só afetaria objetos com massa.

9. Qual seria um análogo físico simples para visualizar a ideia de que “massas curvam o espaço-tempo”?

- a) Uma balsa navegando em um rio calmo.
- b) Bolas de boliche em um lençol esticado.
- c) Um balão inflando.
- d) Uma corda vibrando entre dois pontos.

Resposta correta: b) Bolas de boliche em um lençol esticado.

Sugestão de discussão para o professor: Esta pergunta busca uma analogia comum e eficaz. A discussão deve explorar como a bola de boliche (massa) deforma o lençol (espaço-tempo) e como objetos menores (mármore) “rolam” nessa depressão, imitando órbitas. É importante ressaltar as limitações da analogia (é 2D para um espaço-tempo 4D).

10. Se você e um amigo estivessem flutuando no espaço, longe de qualquer objeto massivo, como a gravidade de Newton descreveria a interação entre vocês?

- a) Não haveria interação gravitacional porque vocês não estão em um planeta.
- b) Vocês se atrairiam com uma força gravitacional muito pequena, mas presente.
- c) Vocês se repeliriam devido a uma força desconhecida.
- d) Apenas um de vocês sentiria a gravidade do outro.

Resposta correta: b) Vocês se atrairiam com uma força gravitacional muito pequena, mas presente.

Sugestão de discussão para o professor: Esta questão reforça que a gravidade newtoniana age entre quaisquer massas. A discussão deve enfatizar que, embora a força seja minúscula e imperceptível no dia a dia sem massas planetárias, ela ainda existe e segue a mesma lei. Isso pode levar a uma transição para como a Relatividade Geral ainda prevê atração, mas através da curvatura.

Concept Questions para Aula 04

1. O Princípio da Equivalência, um dos postulados da Relatividade Geral de Einstein, afirma que a gravidade é indistinguível de qual outra condição?

- a) Aceleração constante.
- b) Velocidade constante.
- c) Ausência de massa.
- d) Força magnética.

Resposta correta: a) Aceleração constante.

Sugestão de discussão para o professor: Esta pergunta aborda o cerne do Princípio da Equivalência. A discussão deve focar na ideia de que um observador em um elevador acelerando para cima não consegue distinguir se está sob o efeito da gravidade ou de uma aceleração equivalente. Use exemplos como a sensação de peso em um elevador subindo.

2. Imagine-se dentro de uma caixa fechada no espaço. Se você sente seu corpo sendo “puxado” para o chão da caixa, o que, de acordo com o Princípio da Equivalência, pode estar acontecendo?

- a) Você está sendo puxado por um ímã gigante.
- b) A caixa está orbitando um planeta muito massivo.
- c) A caixa está acelerando constantemente, ou você está sob o efeito da gravidade.
- d) Você está em queda livre.

Resposta correta: c) A caixa está acelerando constantemente, ou você está sob o efeito da gravidade.

Sugestão de discussão para o professor: Esta questão reforça o Princípio da Equivalência de forma prática. A discussão deve levar os alunos a compreender que os efeitos da aceleração e da gravidade são localmente indistinguíveis, sem a necessidade de um referencial externo.

3. O Princípio da Covariância Geral da Relatividade Geral de Einstein afirma que as leis da física devem ser as mesmas para observadores em:?

- a) Apenas referenciais inerciais.
- b) Apenas referenciais acelerados.
- c) Qualquer referencial, independentemente de seu estado de movimento.
- d) Apenas referenciais em repouso.

Resposta correta: c) Qualquer referencial, independentemente de seu estado de movimento.

Sugestão de discussão para o professor: Esta pergunta introduz o segundo postulado fundamental. A discussão deve esclarecer que a Relatividade Especial lida apenas com referenciais inerciais, enquanto a Relatividade Geral estende essa ideia para incluir todos os tipos de movimento (acelerados, rotacionais, etc.), tornando as leis da física mais “gerais”.

4. O que significa dilatação do tempo em um campo gravitacional forte?

- a) O tempo acelera em regiões de alta gravidade.
- b) Os relógios batem mais rápido em regiões de alta gravidade.
- c) O tempo passa mais devagar em regiões de alta gravidade.
- d) O tempo para completamente em regiões de alta gravidade.

Resposta correta: c) O tempo passa mais devagar em regiões de alta gravidade.

Sugestão de discussão para o professor: Esta pergunta define o conceito de dilatação do tempo gravitacional. A discussão deve enfatizar que este é um efeito real e mensurável, não uma ilusão. Pode-se usar a analogia do tempo sendo “esticado” ou “retardado” pela gravidade.

5. Se você estivesse perto de um buraco negro e seu amigo estivesse em um planeta distante, quem observaria o tempo passar mais rapidamente para si mesmo?

- a) Você, perto do buraco negro.
- b) Seu amigo, no planeta distante.
- c) Ambos observariam o tempo passar na mesma velocidade.
- d) Ninguém, o tempo para em campos gravitacionais.

Resposta correta: b) Seu amigo, no planeta distante.

Sugestão de discussão para o professor: Esta é uma aplicação direta da dilatação do tempo. A discussão deve esclarecer que, do ponto de vista do amigo distante, seu relógio perto do buraco negro estaria batendo mais devagar. Peça aos alunos para justificarem com base no conceito de que o tempo desacelera em campos gravitacionais fortes.

6. Que tipo de objeto astronômico é o cenário ideal para observar os efeitos dramáticos da dilatação do tempo gravitacional?

- a) Um asteroide.
- b) Um planeta gigante como Júpiter.
- c) Uma estrela de nêutrons ou um buraco negro.
- d) Uma nebulosa de gás.

Resposta correta: c) Uma estrela de nêutrons ou um buraco negro.

Sugestão de discussão para o professor: Esta pergunta conecta a teoria a exemplos concretos. A discussão deve focar na necessidade de campos gravitacionais muito fortes para que os efeitos da dilatação do tempo sejam perceptíveis, como os encontrados em objetos compactos e extremamente densos.

7. O que aconteceria com um relógio se ele fosse colocado muito perto, mas ainda fora, do horizonte de eventos de um buraco negro, visto por um observador distante?

- a) Ele aceleraria e funcionaria mais rápido.
- b) Ele pararia de funcionar imediatamente.
- c) Ele pareceria funcionar muito, muito lentamente.
- d) Ele se desintegraria devido ao calor.

Resposta correta: c) Ele pareceria funcionar muito, muito lentamente.

Sugestão de discussão para o professor: Esta é uma variação da questão da dilatação do tempo, focando no limite extremo de um buraco negro. A discussão deve reiterar que o observador distante veria o relógio quase “congelado” no tempo à medida que se aproxima do horizonte de eventos.

8. Por que os sistemas de GPS (Global Positioning System) precisam levar em consideração os efeitos da Relatividade Geral (incluindo a dilatação do tempo)?

- a) Para corrigir a curvatura da Terra.
- b) Para compensar a diferença na passagem do tempo entre os satélites (em campo gravitacional mais fraco) e a superfície da Terra (em campo gravitacional mais forte).
- c) Para rastrear a velocidade dos carros no chão.
- d) Para medir a força do campo magnético da Terra.

Resposta correta: b) Para compensar a diferença na passagem do tempo entre os satélites (em campo gravitacional mais fraco) e a superfície da Terra (em campo gravitacional mais forte).

Sugestão de discussão para o professor: Esta questão conecta a Relatividade Geral a uma aplicação prática e cotidiana. A discussão deve explicar que, como os satélites estão mais altos (onde a gravidade é ligeiramente mais fraca), o tempo passa um pouco mais rápido para eles, e essa pequena diferença deve ser corrigida para que o GPS seja preciso.

9. Se as leis da física devem ser as mesmas em qualquer referencial (Princípio da Covariância Geral), isso significa que a força da gravidade é:?
- a) Diferente para cada observador.
 - b) Uma ilusão óptica.
 - c) Uma propriedade intrínseca do espaço-tempo, não uma força separada.
 - d) Constante em todo o universo.

Resposta correta: c) Uma propriedade intrínseca do espaço-tempo, não uma força separada.

Sugestão de discussão para o professor: Esta pergunta busca aprofundar a compreensão do Princípio da Covariância Geral e sua implicação sobre a natureza da gravidade. A discussão deve reforçar que, na Relatividade Geral, a gravidade não é uma força agindo a distância, mas sim uma manifestação da geometria do espaço-tempo.

10. Qual dos seguintes cenários não seria afetado pela dilatação do tempo gravitacional de forma perceptível para os seres humanos?

- a) Estar em órbita muito próxima de um buraco negro.
- b) Viver na superfície de uma estrela de nêutrons.
- c) Passar alguns dias no topo de uma montanha alta na Terra em comparação com o nível do mar.
- d) Viver na superfície da Terra em comparação com o espaço intergaláctico profundo.

Resposta correta: c) Passar alguns dias no topo de uma montanha alta na Terra em comparação com o nível do mar.

Sugestão de discussão para o professor: Esta pergunta avalia a escala dos efeitos da dilatação do tempo. A discussão deve esclarecer que, embora a dilatação do tempo gravitacional exista mesmo em campos fracos (como o da Terra), ela é insignificante para a experiência humana diária em altitudes diferentes, mas se torna dramática em objetos extremamente densos.

Concept Questions para Aula 05

1. Qual é a principal vantagem de usar um análogo de buraco negro (como o funil com areia) em vez de estudar um buraco negro real diretamente?

- a) Análogos permitem viagens seguras para dentro de buracos negros reais.
- b) Análogos são mais fáceis e seguros de construir e experimentar em um ambiente de sala de aula.
- c) Análogos podem prever com 100% de precisão todas as propriedades de um buraco negro.
- d) Análogos emitem a mesma quantidade de radiação que um buraco negro real.

Resposta correta: b) Análogos são mais fáceis e seguros de construir e experimentar em um ambiente de sala de aula.

Sugestão de discussão para o professor: Esta pergunta foca na utilidade dos análogos. A discussão deve enfatizar a acessibilidade e a segurança, além de reforçar que análogos são modelos simplificados e não representações perfeitas. Pode-se perguntar quais seriam as dificuldades de estudar um buraco negro real (distância, perigo, etc.).

2. No análogo de buraco negro do funil com areia, o que a curvatura da superfície da areia no funil representa?

- a) A massa da estrela que formou o buraco negro.
- b) A distorção do espaço-tempo causada por uma massa enorme.
- c) A temperatura do buraco negro.
- d) A velocidade de rotação do buraco negro.

Resposta correta: b) A distorção do espaço-tempo causada por uma massa enorme.

Sugestão de discussão para o professor: Esta pergunta avalia a compreensão da analogia principal. A discussão deve ligar diretamente a depressão criada pela areia à curvatura do espaço-tempo pela massa de um buraco negro real, reforçando a ideia da Relatividade Geral.

3. Qual característica um buraco negro real e o análogo do funil com areia compartilham em sua capacidade de “capturar” objetos?

- a) Ambos geram energia nuclear que atrai objetos.
- b) Ambos possuem uma região onde objetos, uma vez que a ultrapassam, não podem mais escapar.
- c) Ambos são capazes de emitir fortes rajadas de raios-X.
- d) Ambos têm uma superfície física sólida onde os objetos param.

Resposta correta: b) Ambos possuem uma região onde objetos, uma vez que a ultrapassam, não podem mais escapar.

Sugestão de discussão para o professor: Esta questão mira no conceito do horizonte de eventos e sua representação no análogo. A discussão deve esclarecer que a borda no funil onde as esferas caem é análoga ao horizonte de eventos do buraco negro real. É crucial enfatizar que o horizonte de eventos não é uma superfície física.

4. Em um buraco negro real, o que a luz faz quando atinge o horizonte de eventos?

- a) É refletida de volta para o espaço.
- b) É curvada e acelerada para fora do buraco negro.
- c) É aprisionada e não pode mais escapar.
- d) Passa através do buraco negro para outro universo.

Resposta correta: c) É aprisionada e não pode mais escapar.

Sugestão de discussão para o professor: Esta pergunta reforça a definição mais fundamental do horizonte de eventos de um buraco negro real. A discussão deve reiterar a ideia de “ponto sem retorno” e por que os buracos negros são “negros” (a luz não escapa).

5. Se você soltasse uma pequena esfera no análogo do funil com areia e ela caísse no centro, o que isso representaria no contexto de um buraco negro real?

- a) A esfera se transformando em energia.
- b) Um objeto sendo ejetado para fora do buraco negro.
- c) Um objeto cruzando o horizonte de eventos e sendo puxado para a singularidade.
- d) A esfera orbitando o buraco negro de forma estável.

Resposta correta: c) Um objeto cruzando o horizonte de eventos e sendo puxado para a singularidade.

Sugestão de discussão para o professor: Esta questão conecta a observação do análogo ao evento real. A discussão deve explicar que o “centro” do funil é a analogia para a singularidade (ponto de densidade infinita) e que a queda da esfera representa a captura irreversível.

6. Qual destas é uma característica de um buraco negro real que não pode ser perfeitamente replicada pelo análogo do funil com areia?

- a) A capacidade de distorcer o espaço-tempo.
- b) A existência de um “horizonte de eventos”.
- c) A capacidade de afetar o tempo (dilatação do tempo gravitacional).
- d) A atração de objetos por gravidade.

Resposta correta: c) A capacidade de afetar o tempo (dilatação do tempo gravitacional).

Sugestão de discussão para o professor: Esta pergunta explora as limitações do análogo. A discussão deve salientar que, embora o funil mostre a curvatura espacial, ele não consegue replicar os efeitos temporais da Relatividade Geral de forma simples. Isso leva à compreensão de que modelos têm suas restrições.

7. O que a massa de um buraco negro real determina, entre outras coisas?

- a) Sua cor e temperatura.
- b) O tamanho de seu horizonte de eventos.
- c) A composição de seus elementos químicos.
- d) Se ele pode se mover no espaço.

Resposta correta: b) O tamanho de seu horizonte de eventos.

Sugestão de discussão para o professor: Esta questão relaciona a massa com uma característica observável (indiretamente) do buraco negro real. A discussão deve explicar que buracos negros mais massivos têm horizontes de eventos maiores, e que a massa é a principal propriedade que define um buraco negro (junto com spin e carga).

8. Ao observar o análogo do funil, se uma pequena esfera passa perto, mas não cai no centro, o que isso representa no contexto de um buraco negro real?

- a) A esfera foi ejetada para fora do universo.
- b) A esfera orbitou o buraco negro de forma estável ou escapou de sua atração.
- c) A esfera colidiu com uma parede invisível.
- d) A gravidade do "buraco negro" foi temporariamente desligada.

Resposta correta: b) A esfera orbitou o buraco negro de forma estável ou escapou de sua atração.

Sugestão de discussão para o professor: Esta questão aborda a possibilidade de órbita ou escape. A discussão deve mostrar que nem tudo que se aproxima de um buraco negro é automaticamente engolido; há regiões onde objetos podem orbitar de forma estável (esferas que giram sem cair no funil) ou simplesmente serem defletidos e continuar seu caminho.

9. Um buraco negro real é um objeto com densidade:?

- a) Baixa, como uma nuvem de gás.
- b) Média, como uma estrela normal.
- c) Extremamente alta, quase infinita em seu centro.
- d) Variável, dependendo do que ele consome.

Resposta correta: c) Extremamente alta, quase infinita em seu centro.

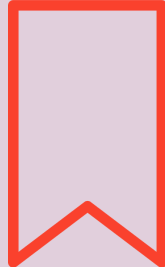
Sugestão de discussão para o professor: Esta questão aborda a densidade extrema dos buracos negros, introduzindo o conceito de singularidade. A discussão deve focar na compressão de uma massa enorme em um volume minúsculo, resultando em densidade inimaginável.

10. Qual é a principal diferença entre a parede interna do funil e o horizonte de eventos de um buraco negro real?

- a) A parede do funil é um objeto físico e visível, enquanto o horizonte de eventos é um limite teórico e invisível.
- b) A parede do funil é sólida, enquanto o horizonte de eventos é um gás.
- c) A parede do funil sempre reflete a luz, enquanto o horizonte de eventos sempre a emite.
- d) Não há diferença; são exatamente a mesma coisa.

Resposta correta: a) A parede do funil é um objeto físico e visível, enquanto o horizonte de eventos é um limite teórico e invisível.

Sugestão de discussão para o professor: Esta é uma questão de nuance importante para distinguir o modelo da realidade. A discussão deve reforçar que o análogo ajuda a visualizar o conceito, mas tem limitações físicas. O horizonte de eventos não é algo que se possa tocar ou ver no sentido tradicional.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, Jamila Rodrigues de; SOLTAU, Samuel Bueno. Filme Interestelar e Sala de Aula Invertida: uma proposta para ensinar relatividade geral e buracos negros no Ensino Médio. *Research, Society and Development*, [S. l.], v. 11, n. 5, p. e40911528437, 2022.

AMAZONAS. Referencial Curricular Amazonense do Ensino Médio. Secretaria de Estado de Educação e Desporto, Comissão de Implementação da Base Nacional Comum Curricular no Amazonas, 2020.

BRASIL. Base Nacional Comum Curricular: Ensino Médio. Brasília: MEC/Secretaria de Educação Básica, 2017.

EINSTEIN, A. "The Foundation of the General Theory of Relativity". *Annalen der Physik*, 1916.

HAWKING, S. (1988). *A Brief History of Time*. Bantam Books.

MAZUR, E. (1997). *Peer Instruction: A User's Manual*. Prentice Hall.

MORAIS, Istenio Nunes de. Buracos negros: uma abordagem conceitual para professores do ensino médio. *Revista de Enseñanza de la Física*, [S. l.], v. 34, n. 2, p. 73-81, jul./dez. 2022.

SANTOS, Isabela Gomes dos et al. O Uso de Metodologias Ativas no ensino de Ciências: Um estudo de revisão sistemática. *Psicologia, Educação e Cultura*, Vol. XX IV, Nº 3. dezembro de 2020.

STUDART, Nelson. Inovando a Ensino de Física com Metodologias Ativas. *Revista do Professor de Física*, v. 3, n. 3, p. 1-24, Brasília, 2019. Instituto de Física - Universidade de Brasília.

