



Um jogo digital para explorar o aprendizado de buracos negros e da radiação Hawking

A digital game to explore learning black holes and Hawking radiation

Adilson Vahldick^{*1}, Luis Felipe da Silva¹, Vinicius Andre Guckert Marquez²

¹Universidade do Estado de Santa Catarina, Departamento de Engenharia de Software, 89140-000, Ibirama, SC, Brasil.

²Centro Universitário para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí, Rio do Sul, SC, Brasil.

Recebido em 27 de janeiro de 2025. Revisado em 07 de abril de 2025. Aceito em 30 de abril de 2025.

A física moderna envolve conceitos complexos que exigem a visualização de ideias abstratas, demandando estratégias tangíveis para facilitar sua compreensão. Este trabalho apresenta um jogo do gênero puzzle desenvolvido para dispositivos móveis, desenvolvido para auxiliar alunos do 1º ano do Ensino Médio na aprendizagem de conceitos físicos sobre Buracos Negros, Radiação Hawking, bem como os estudos de Stephen Hawking. O jogo utiliza o acelerômetro, transformando-o em uma experiência ativa, na qual os alunos interagem por meio de movimentos da mão. Participaram 55 alunos, divididos em duas turmas, em um quase-experimento com delineamento cruzado: uma usou o jogo antes das aulas teóricas e a outra após. Testes de conhecimento e o instrumento MEEGA+ validaram a eficácia e experiência de jogo. Os resultados indicaram maior eficiência quando o jogo foi utilizado como introdução aos temas, antes das aulas, aumentando o engajamento e a motivação dos alunos, que chegaram a sugerir novos desafios. A abordagem inovadora foi amplamente aceita, integrando aprendizagem e ludicidade. No entanto, a diversidade de modelos de dispositivos trouxe desafios técnicos, dado o comportamento variável do sensor. Concluiu-se que jogos educativos, especialmente em temas complexos como física moderna, são ferramentas valiosas para estimular o interesse e a compreensão dos alunos.

Palavras-chave: Ensino de física, Buracos negros, Radiação Hawking, Jogos digitais, Aprendizagem móvel.

Modern physics involves complex concepts that require the visualization of abstract ideas, demanding tangible strategies to facilitate understanding. This study presents a puzzle game developed for mobile devices, aimed at helping 1st-year high school students in learning physical concepts related to Black Holes, Hawking Radiation, and Stephen Hawking's studies. The game uses the accelerometer, transforming it into an active experience where students interact through hand movements. Fifty-five students participated, divided into two groups, in a quasi-experiment with a crossover design: one group used the game before the theoretical classes, and the other after. Knowledge tests and the MEEGA+ instrument validated the game's effectiveness and user experience. The results indicated greater efficiency when the game was used as an introduction to the topics before the lessons, increasing student engagement and motivation, with some even suggesting new challenges. The innovative approach was widely accepted, integrating learning and playfulness. However, the diversity of mobile device models posed technical challenges due to the sensor's variable behavior. It was concluded that educational games, especially in complex topics like modern physics, are valuable tools for stimulating student interest and comprehension.

Keywords: Physics teaching, Black holes, Hawking radiation, Digital games, Mobile learning.

1. Introdução

O ensino da Física enfrenta desafios significativos, principalmente devido à cultura do ensinar para as provas, onde o foco está em treinar alunos para provas, levando a uma aprendizagem mecânica e superficial [1]. É fundamental que educadores resistam a essa tendência, buscando um ensino que priorize a compreensão conceitual, a experimentação, a criticidade e a aprendizagem significativa, afastando-se do simples treinamento para testes.

Existem ferramentas tecnológicas que, ao serem integradas de forma adequada no ensino de Física, podem transformar a maneira como os estudantes percebem e aprendem a disciplina, tornando o processo mais interativo e menos dependente da memorização mecânica. Entre essas alternativas, podem-se destacar simulações e modelagens computacionais [2, 3], assim como o uso de jogos digitais [4, 5]. Esses jogos não apenas tornam as aulas mais dinâmicas, mas também promovem um aprendizado mais profundo e significativo, permitindo que os alunos relacionem os conceitos físicos com situações reais ou simuladas [6].

Na Base Nacional Comum Curricular (BNCC), em Ciências da Natureza e suas Tecnologias no Ensino Médio, na segunda competência específica, consta a habilidade

*Endereço de correspondência: adilson.vahldick@udesc.br
Editor-Chefe: Marcello Ferreira

EM13CNT201, que trata de “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”. Porém, é um desafio apresentar aos alunos assuntos tão abstratos como a Teoria da Relatividade ou a Entropia de Buracos Negros.

O objetivo da presente investigação é engajar alunos do primeiro ano do Ensino Médio, por meio de um jogo educativo para dispositivos móveis com sistema operacional Android, para que possam aprimorar o conhecimento sobre o assunto Buracos Negros e Radiação Hawking. O jogo, chamado *Mysterious Chase*, é do gênero *puzzle*, com desafios de localização e fuga de buracos negros. O gênero *puzzle* envolve experiências nas quais o jogador precisa raciocinar sobre os elementos dispostos em tela para resolver algum tipo de quebra-cabeça, geralmente se utilizando de mecânicas envolvendo tempo e múltiplas tentativas [7]. Com o uso do acelerômetro, o jogo utilizou mecânicas de movimentação da mão como uma forma inovadora para transformar um jogo de raciocínio em um jogo ativo. Foi realizado um estudo quase-experimental com 55 alunos, onde em um grupo foi organizado para ter aulas e depois jogar, e no outro grupo foi invertida essa ordem.

2. Metodologia

O desenvolvimento do jogo contou com a presença constante da consultoria do Professor Vinicius Andre Guckert Marquez da disciplina de Física no Ensino Médio do Colégio de Aplicação do Centro Universitário para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí. Conforme Squire [8], o sucesso da investigação também depende da participação ativa dos professores envolvidos, considerando-os como coautores da pesquisa e do desenvolvimento do jogo. A sua participação foi essencial na definição do projeto instrucional do jogo. O projeto instrucional trata dos conceitos propostos e como eles serão ensinados no jogo [9]. Isso resulta nos conteúdos instrucionais, que devem contribuir para que os alunos criem habilidades que vão além da memorização, almejando a construção de uma mente crítica pautada na resolução de problemas.

O jogo foi implementado com a Unity com a linguagem de programação C#. O jogo foi compilado para executar em dispositivos móveis compatíveis com sistema operacional Android. Existem algumas dificuldades para que o aplicativo seja desenvolvido tanto para Android como para iOS. A primeira é o comportamento diferente do acelerômetro e uso de suas respectivas bibliotecas. Segundo, é necessário configurar certificados de desenvolvimento e distribuição, e a exigência de que os dispositivos iOS usados para testes sejam registrados no portal do desenvolvedor. Terceiro, enquanto um aplicativo Android pode ser baixado de qualquer *link*,

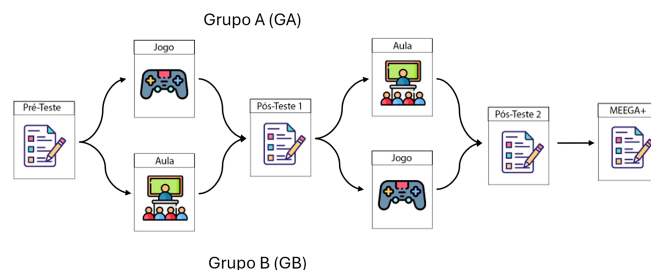


Figura 1: Desenho da metodologia de validação do jogo como ferramenta educativa.

os aplicativos da Apple precisam ser baixados da App Store, o que requer uma assinatura anual. Por último, para publicar um aplicativo na App Store da Apple, é necessário seguir diretrizes rigorosas, e o jogo poderia ser rejeitado se não atender a esses requisitos.

Para o desenho da validação foi adotado um estudo quase-experimental com delineamento cruzado [10]. Um quase-experimento não tem randomização completa pois foram usadas duas turmas do Primeiro Ano do Ensino Médio, e cada uma delas representou um grupo distinto. O delineamento cruzado é caracterizado pela troca de papéis ao longo do estudo. A Figura 1 ilustra como foi projetada essa validação. Foi aplicado um pré-teste (10 questões com cinco alternativas) em ambas as turmas. Em uma sessão de 30 minutos o Grupo A (GA) experimentou o jogo e o Grupo B (GB) teve aulas. Em seguida foi aplicado um teste com as mesmas questões do pré-teste, porém com outra ordem das questões e alternativas. Depois, o GA teve aulas e o GB experimentou o jogo. Após os trinta minutos, os alunos responderam novamente o teste, com as questões em outra ordem, assim como suas alternativas, em relação aos dois testes anteriores. Para finalizar, ambas as turmas responderam o instrumento MEEGA+ [11] com 32 itens (mais os específicas do jogo) na escala *likert* com cinco níveis de concordância para validar a usabilidade e experiência com o jogo.

3. O Jogo *Mysterious Chase*

3.1. Concepção do jogo

O jogo foi concebido para dispositivos móveis porque a grande maioria dos estudantes do Ensino Médio possuem *smartphones*, com um poder computacional muito maior que a maioria dos laboratórios de informática nas escolas, facilitando o acesso ao jogo. Com isso, foi possível usar o sensor acelerômetro (sensor nos *smartphones* para detectar a orientação do dispositivo, por exemplo, mudar de vertical para horizontal) para proporcionar novos tipos de desafios no jogo. O jogo apresenta elementos do gênero *puzzle*, com desafios que se repetem em diferentes formatos na tentativa de instigar o jogador envolvido nos desafios do jogo.

A Tabela 1 apresenta os conceitos a serem abordados no jogo. Cada conceito está relacionado com uma questão de múltiplas escolhas de um questionário que foi utilizado como pré e pós-teste (Tabela 2). A primeira alternativa é sempre a correta.

O jogo inicia com uma história que faz o protagonista, através de um assistente robótico, se encontrar com Stephen Hawking em uma nave no espaço sideral. O físico conta sobre uma de suas principais descobertas que é a Radiação Hawking, que permitiu construir equipamentos que permitissem a detecção de Buracos Negros. Ambos farão uma viagem pelo universo na caça de buracos negros e assim compreender esses objetos astronômicos.

3.2. Projeto do jogo

A diversão do jogo está direcionada em dois tipos de desafios: “Localizar os buracos negros” e “Vencer os buracos negros”.

Tabela 1: Conceitos abordados no jogo.

#	Conceito
01	Newton e Einstein propõem conceitos singulares para explicar a gravidade
02	A radiação Hawking cria ondas pelo espaço e indica a localização de Buracos Negros
03	Buracos Negros engolem matéria e aumentam sua massa
04	Buracos Negros curvam e deformam a luz
05	A Radiação Hawking resulta da criação de pares de partículas virtuais
06	A acreção de gás e poeira gera Quasar com muita energia e luz
07	Buracos Negros curvam e deformam a luz
08	A Radiação Hawking é única para Buracos Negros
09	A acreção de gás e poeira gera camada de luz ao redor do Buraco Negro
10	Buracos Negros obedecem a Lei da Conservação da Massa-Energia

Tabela 2: Questões dos pré e pós-testes.

#	Questão
01	Durante uma viagem no tempo e espaço, um você encontra-se em um encontro inesperado com o renomado físico Stephen Hawking. Animado com a oportunidade de conversar com um viajante do futuro, Hawking levanta uma questão intrigante sobre a diferença entre a explicação da gravidade de Isaac Newton e a teoria da relatividade geral de Albert Einstein para explicar o fenômeno em buracos negros. Para provar que você é digno de iniciar uma conversa com o cientista, responda à seguinte pergunta que explicita o questionamento anterior: Quais são as principais diferenças conceituais entre a explicação da gravidade de Newton e a teoria da relatividade geral de Einstein para explicar os fenômenos gravitacionais em regiões próximas a um buraco negro? A) Newton descreve a gravidade como uma força de atração direta entre massas, enquanto Einstein propõe que a gravidade resulta da curvatura do espaço-tempo causada pela presença de massa e energia. B) Newton sugere que a gravidade é uma propriedade intrínseca à matéria, enquanto Einstein argumenta que a gravidade é uma força eletromagnética. C) Newton concebe a gravidade como uma força que age apenas entre objetos em contato físico, enquanto Einstein sugere que a gravidade é uma força universal que age a qualquer distância. D) Newton afirma que a gravidade é uma manifestação da força nuclear forte, enquanto Einstein postula que a gravidade é causada pela emissão de partículas subatômicas chamadas grávitons. E) Newton afirma que a gravidade tem relação com forças magnéticas de atração, enquanto Einstein defende a tese de uma força direta entre massas.
02	O renomado físico Stephen Hawking, cujo trabalho transformou nossa compreensão dos buracos negros, desempenhou um papel fundamental na teoria da radiação Hawking, que sugere que os buracos negros não são totalmente “negros” e podem emitir partículas devido a efeitos quânticos próximos a seu horizonte de eventos. Recentemente, uma descoberta monumental na astronomia e física confirmou indiretamente a existência de buracos negros. As ondas gravitacionais, previstas por Albert Einstein em sua teoria da relatividade geral, foram detectadas em 2015 pela colaboração LIGO-Virgo. Essas ondas são produzidas por eventos cósmicos violentos, como a fusão de buracos negros e estrelas de nêutrons. Aqui está a sua missão: Imagine-se colaborando com o Dr. Hawking e ajudando-o a investigar essa conexão entre sua teoria da radiação Hawking e as ondas gravitacionais. Qual é a relação entre esses dois conceitos e como as ondas gravitacionais podem servir como uma evidência fundamental para a existência de buracos negros? A) A radiação Hawking é responsável por criar ondas gravitacionais que se propagam pelo espaço, permitindo que os cientistas as detectem e confirmem a existência de buracos negros. B) As ondas gravitacionais são emitidas pelo próprio buraco negro devido à radiação Hawking, provando assim sua existência. C) Buracos negros não têm relação com ondas gravitacionais, pois são entidades puramente teóricas. D) As ondas gravitacionais são uma ilusão criada por buracos negros para enganar os cientistas e ocultar sua verdadeira natureza. E) A teoria da radiação Hawking é refutada pelas observações de ondas gravitacionais, o que sugere que os buracos negros são, na verdade, estrelas de nêutrons em colapso.

(Continued)

Tabela 2: Continued

#	Questão
03	Qual das seguintes afirmações é verdadeira sobre a interação dos buracos negros com a matéria? A) Os buracos negros atraem a matéria em sua direção e podem engoli-la, aumentando assim sua massa. B) Os buracos negros repelem a matéria e não têm nenhuma interação com ela. C) A matéria tem o poder de anular a gravidade dos buracos negros e evitar ser atraída por eles. D) Os buracos negros interagem com a matéria, mas apenas a transformam em antimatéria, causando uma aniquilação mútua entre a matéria e a antimatéria quando se aproximam. E) Os buracos negros interagem com a matéria, mas apenas a redirecionam para outras regiões do espaço, atuando como portais dimensionais que conduzem a outros universos.
04	Um astronauta que realizava uma missão espacial próxima a um buraco negro supermassivo observa que as estrelas ao seu redor do buraco negro parecem estar se movendo em trajetórias curvas e distorcidas, e a luz emitida por elas é desviada de sua trajetória original. Esse fenômeno é uma manifestação direta da deformação do espaço-tempo que ocorre devido a: A) Deformação do espaço-tempo causada pela forte gravidade do buraco negro. B) Interação das estrelas com campos magnéticos intensos gerados pelo buraco negro. C) A absorção da luz estelar por partículas subatômicas presentes nas proximidades do buraco negro. D) A emissão de radiação eletromagnética pelas estrelas em resposta à intensa gravidade do buraco negro. E) A formação de ondas gravitacionais causadas pelas explosões estelares na região próxima ao buraco negro.
05	A radiação Hawking, nomeada em homenagem ao físico Stephen Hawking, é um fenômeno quântico previsto pela teoria da relatividade geral que descreve como os buracos negros emitem partículas subatômicas e, como resultado, perdem massa ao longo do tempo. Agora, imagine-se como um estudante de física que deseja entender o funcionamento da radiação Hawking em detalhes. Como você explicaria esse fenômeno quântico e o processo pelo qual as partículas são emitidas pelos buracos negros? Escolha a alternativa correta. A) A radiação Hawking resulta da criação de pares de partículas virtuais na proximidade do horizonte de eventos do buraco negro, com uma partícula escapando e a outra caindo no buraco negro. B) A radiação Hawking é causada pela fusão de partículas dentro do buraco negro, que geram uma grande quantidade de gravidade newtoniana. C) Buracos negros emitem radiação Hawking quando suas temperaturas atingem valores extremamente baixos devido à interação com partículas próximas ao horizonte de eventos. D) A radiação Hawking ocorre quando a pressão no interior de um buraco negro se torna insustentável, causando uma explosão de partículas para o espaço. E) A radiação Hawking é uma ficção científica, não tem base na teoria da relatividade de Einstein.
06	Quasares são objetos astronômicos extremamente luminosos e energéticos, situados a bilhões de anos-luz de distância da Terra. Esses objetos emitem enormes quantidades de energia, muitas vezes superando a luminosidade de uma galáxia inteira. Imagine que você é um astrônomo espacial que está estudando quasares e observou a imagem abaixo. Com base em seus conhecimentos, responda à seguinte pergunta: Ao observar um quasar distante, você percebe que ele emite uma quantidade imensa de radiação eletromagnética, incluindo luz visível, raios X e ondas de rádio. Qual é o processo físico que ocorre nas proximidades de um buraco negro supermassivo, que pode explicar a origem da intensa energia liberada por um quasar? A) Acreção de material por um buraco negro supermassivo no centro de uma galáxia. B) Fusão nuclear acelerada no núcleo do quasar. C) Combustão de matéria escura nas camadas externas do quasar. D) Colisão de átomos altamente energéticos na atmosfera do quasar. E) Processo de refrigeração de gases interestelares no interior do quasar.
07	A teoria da relatividade de Einstein prevê que a luz é afetada pela gravidade. Quando a luz passa perto de um objeto com grande massa, como um buraco negro, sua trajetória pode ser curvada. Isso significa que a luz pode seguir um caminho diferente do que seguiria se não houvesse um buraco negro por perto. A partir dessa explicação, podemos afirmar que: A) A luz pode ser curvada pela gravidade de objetos com grande massa, como buracos negros. B) A luz nunca é afetada pela gravidade, independentemente da massa do objeto próximo. C) A luz é afetada pela gravidade apenas quando passa perto de planetas com grande massa. D) A luz é afetada pela gravidade apenas quando passa perto de estrelas, mas não por objetos menores ou com massa moderada. E) A luz é afetada pela gravidade apenas quando passa perto de planetas gigantes gasosos, como Júpiter, e não por outros tipos de objetos com grande massa.
08	A radiação Hawking, uma das contribuições mais significativas do renomado físico Stephen Hawking, descreve o fenômeno em que buracos negros emitem partículas devido a efeitos quânticos próximos a seu horizonte de eventos. Essa teoria tem implicações profundas na astrofísica e na compreensão dos buracos negros. Aqui está sua tarefa: Explique como a radiação Hawking pode ser usada como uma ferramenta para identificar buracos negros e como ela difere da radiação emitida por outros objetos no espaço. Escolha a alternativa que melhor descreve essa relação.

(Continued)

Tabela 2: Continued

#	Questão
	A) A radiação Hawking é única para buracos negros e pode ser detectada como um sinal característico, ajudando na sua identificação.
	B) A radiação Hawking é um fenômeno raro e não pode ser usada para identificar buracos negros.
	C) A radiação Hawking é a mesma que a radiação de estrelas e outros objetos, tornando-a inútil para identificar buracos negros.
	D) A radiação Hawking é um mito criado por cientistas e não tem relação com buracos negros.
	E) A radiação Hawking é uma propriedade fundamental de todos os objetos no universo.
09	Durante uma palestra sobre astronomia, um entusiasta da ciência observa uma imagem impressionante do buraco negro localizado no centro da galáxia Messier 87, capturada por um telescópio de alcance mundial. Inspirado pela imagem, ele busca entender mais sobre a natureza dos buracos negros. Responda à seguinte questão: A imagem do buraco negro no centro da galáxia Messier 87 é notável por mostrar um anel brilhante ao redor do horizonte de eventos. Esse fenômeno é causado pela:
	A) Acreção de gás e poeira em órbita do buraco negro.
	B) Fusão nuclear intensa no núcleo do buraco negro.
	C) Reflexão da luz das estrelas próximas ao buraco negro.
	D) Radiação cósmica emitida pela galáxia Messier 87.
	E) Emissão de ondas gravitacionais pela interação de estrelas vizinhas.
10	Os buracos negros são conhecidos por sua natureza extrema, incluindo a capacidade de atrair e “engolir” matéria circundante, aumentando assim sua própria massa. Esse processo é fundamental para a formação e evolução dos buracos negros. Agora, imagine-se como um explorador espacial que fez uma descoberta incrível: um buraco negro que está atualmente “devorando” uma estrela próxima. Como você explicaria esse fenômeno e seu impacto na massa do buraco negro? Escolha a alternativa correta.
	A) Quando um buraco negro consome matéria, sua massa aumenta devido à Lei da Conservação da Massa-Energia.
	B) A matéria absorvida por um buraco negro não afeta sua massa, pois ela é convertida em energia e desaparece completamente.
	C) Quando um buraco negro consome matéria, sua massa diminui, tornando-o menos poderoso.
	D) Buracos negros não podem consumir matéria, pois são entidades puramente teóricas.
	E) A matéria que cai em um buraco negro é transportada para outro universo.

No desafio do tipo “Localizar os buracos negros”, o protagonista precisa utilizar um sensor para seguir as ondas gravitacionais emitidas pela Radiação Hawking. A Figura 2A apresenta a interface principal desse desafio. Ao fundo estão localizados os planetas do Sistema Solar. Essa representação somente serve para demonstrar que o jogador está na interface principal. Com o botão 2, o Sistema Solar desaparece e o jogador liga o sensor e entra no modo de procura do buraco negro (Figura 2B). Observa-se daí, que não existem buracos negros no Sistema Solar. O botão 1 funciona com um *joystick* para o jogador se movimentar pelo cenário. No modo de procura, o buraco negro está escondido no cenário, e com o uso do botão 1, o jogador vai modificando a direção do sensor. Ao centro é exibida uma barra circular, demonstrando a distância do sensor



Figura 2: (A): Interface principal do desafio “Localizar os buracos negros”. (B) Interface com o sensor de localização em uso.

com o buraco negro. Também é emitido um som com o volume relacionado a essa distância. O jogador vence o desafio quando localizar o buraco negro. Ele é posicionado aleatoriamente a cada vez que esse desafio é apresentado ao jogador. O botão 3 apresenta uma tela com as instruções desse desafio.

No desafio “Vencer os buracos negros”, o jogador é colocado dentro do buraco negro, representado por uma plataforma circular com paredes para criarem um labirinto. O objetivo do jogador é posicionar uma cápsula (item 4 da Figura 3) no centro do labirinto dentro de um tempo pré-estabelecido (item 2 da Figura 3).

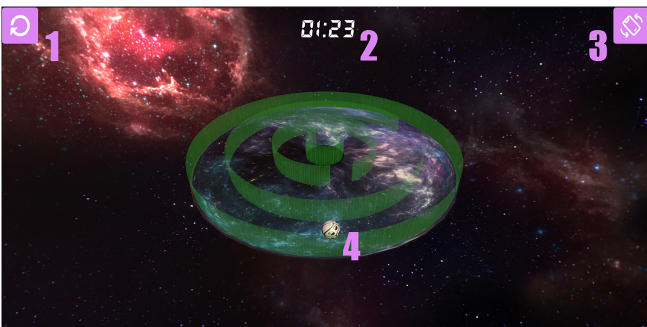


Figura 3: Interface principal do desafio “Vencer os buracos negros”.

A plataforma é controlada através da inclinação do celular, que por sua vez usa um sensor interno chamado de acelerômetro. Como forma de aumentar a compatibilidade do jogo com celulares mais antigos, que não tenham esse sensor, e até por questões de melhorar a acessibilidade para aqueles que tem dificuldade de controlar a inclinação do seu celular, o jogador pode alternar (clicando no botão 3) o controle da inclinação da plataforma usando toques na tela. O jogador também pode reiniciar o desafio atual a qualquer momento clicando no botão 1.

Esse tipo de desafio possui algumas variações durante o jogo, para representarem os conceitos relacionados a buracos negros:

- **Tamanho dos labirintos:** Os buracos negros variam em tamanho de acordo com a quantidade de matéria que consomem em sua vizinhança;
- **Medidor de poeira:** Buracos Negros acumulam matéria e podem acabar por implodir num efeito chamado de Quasar. Existem elementos espalhados no labirinto relacionados à poeira (Figura 4). Quando a cápsula passa por cima desses elementos o medidor (item 1 na Figura 4) vai aumentando. Ao atingir o nível máximo o Buraco Negro explode e o jogador falha no desafio por ter gerado um Quasar;
- **Modificadores:** são itens que podem trazer vantagem ou um desafio maior para o jogador. Os modificadores são ativados quando a cápsula passa por cima do elemento relacionado. Além disso, permitem explorar outras características dos buracos negros, como será listado mais adiante quando forem descritas as fases do jogo. Um dos modificadores permite adicionar 20 segundos ao cronômetro. Ainda, na Figura 5 são apresentados visualmente as diferenças de cada tipo de modificador listados a seguir:
 1. Corpos luminosos bloqueiam as passagens entre as paredes do labirinto por 30 segundos, dificultando a movimentação do jogador;
 2. As paredes do labirinto somem por 5 segundos, o jogador pode pegar atalhos para chegar ao centro;
 3. A cápsula é distorcida por 20 segundos, com isso dificultando a movimentação pelo labirinto;
 4. Um efeito de preto e branco é aplicado na visão do jogador.

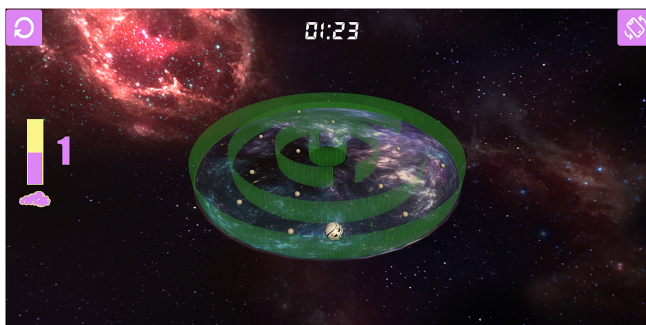


Figura 4: Desafio “Vencer os buracos negros” evitando criação de quasares.

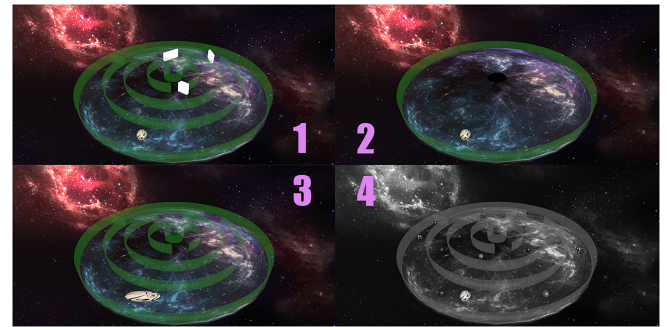


Figura 5: Desafios “Vencer os buracos negros” com modificações.

O jogo foi organizado em oito fases. O enredo, e por consequência a organização das fases, foi baseado em intercalar narrações de Stephen Hawking e os dois desafios se tornando mais complexos à medida que o aluno avança. Esses diálogos com Stephen Hawking são um recurso usado como estratégia de aprendizagem, onde após 12 segundos é apresentado um botão [Avançar] para o jogador ir adiante na explicação do físico. A Tabela 3 detalha a estrutura das fases no jogo. A coluna “Conceito” está relacionada com a Tabela 1. Observa-se que alguns conceitos são repetidos em mais de uma fase, visando reforçar aquele conhecimento. O modificador de adição de 20 segundos no cronômetro e o modificador 2, são utilizados aleatoriamente nas fases.

4. Resultados da Aplicação do Jogo

A amostra foi composta por 55 alunos (20 do sexo masculino e 35 do sexo feminino), onde o GA era composto por 32 alunos e o GB por 23 alunos. O estudo adotou um delineamento cruzado, no qual os participantes são expostos a duas condições (antes e depois de uma intervenção). Esse tipo de delineamento é conhecido por aumentar o poder estatístico, pois cada participante serve como seu próprio controle, reduzindo a variabilidade interna e permitindo a detecção de efeitos com tamanhos de amostra menores em comparação com estudos de grupos independentes. Portanto, mesmo com um número relativamente pequeno de participantes, o delineamento cruzado permite uma análise robusta dos efeitos da intervenção [12].

Em relação à frequência que experimentam jogos digitais, eles responderam: 7%-nunca jogam, 11%-jogam raramente, 11%-jogam ao menos uma vez por mês, 35%-jogam ao menos uma vez por semana e 36% jogam todos os dias. Quase 70% da turma tem o hábito de jogar. 23 (41%) alunos tinham celulares com sistema operacional

Tabela 3: Relacionamento entre conceito e tarefas no jogo.

Fase	Conceito	Tarefa no jogo
01	01	Diálogos
	02	Aprende a finalizar o desafio “Localizar buracos negros”
02	06	“Vencer os buracos negros” com medidor de poeira
03	02	“Localizar buracos negros”
04	05	Diálogos
	04	“Vencer os buracos negros” com modificadores 3 e 4
	06	“Vencer os buracos negros” com medidor de poeira
05	07	“Vencer os buracos negros” com modificadores 3 e 4
	02	“Localizar buracos negros”
	08	Diálogos
06	03	“Vencer os buracos negros” com tamanho maior de labirinto
	04	“Vencer os buracos negros” com modificadores 3 e 4
	06	“Vencer os buracos negros” com medidor de poeira
	07	“Vencer os buracos negros” com modificadores 3 e 4
	09	“Vencer os buracos negros” com modificador 1
	02	“Localizar buracos negros”
	04	“Vencer os buracos negros” com modificadores 3 e 4
07	06	“Vencer os buracos negros” com medidor de poeira
	07	“Vencer os buracos negros” com modificadores 3 e 4
	09	“Vencer os buracos negros” com modificador 1
08	10	Diálogos

Tabela 4: Desempenho nos testes do GA e GB.

		Pontos totais	Pontos obtidos	Média	Mediana	Desvio padrão
GA	Pré-teste	320	162	5,06	4	2,40
GA	Pós-teste 1	320	217	6,78	7	2,62
GA	Pós-teste 2	320	227	7,09	8	2,72
GB	Pré-teste	230	115	5,00	5	1,95
GB	Pós-teste 1	230	121	5,26	5	2,61
GB	Pós-teste 2	230	127	5,52	5	2,84

iOS. Como o jogo foi desenvolvido para ser executado em celulares com sistema operacional Android, na aula aqueles com iOS revezavam o jogo com seus colegas. O desempenho nos testes para o GA e o GB estão apresentados na Tabela 4. Os pontos totais são resultados da multiplicação entre a quantidade de participantes com a quantidade de questões dos testes.

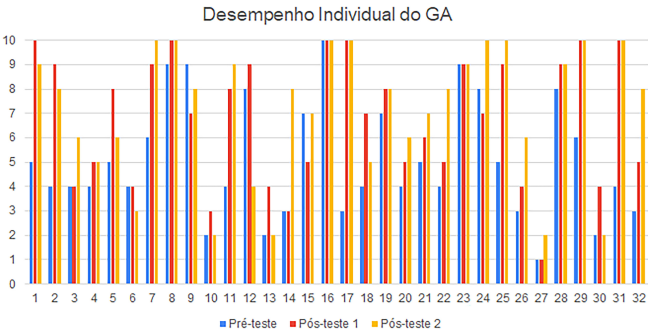


Figura 6: Desempenho individual do GA nos testes.

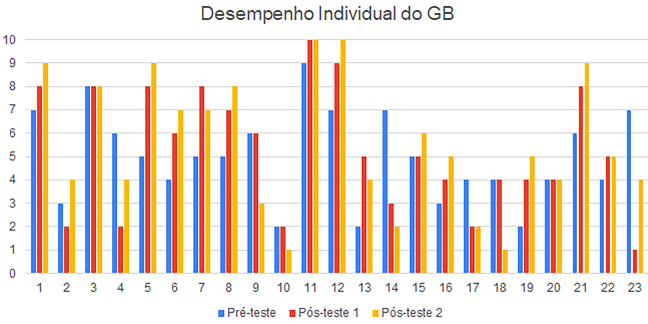


Figura 7: Desempenho individual do GB nos testes.

Em ambos os grupos se observa o aumento na média após cada teste. Entretanto, as medianas somente progredem no GA. As Figuras 6 e 7 apresentam o desempenho individual nos testes.

4.1. Hipóteses

Não basta fazer uma observação simples das diferenças entre as médias. Para testar essas diferenças, e obter informação com significância estatística, se faz necessário executar testes de hipóteses. Foi utilizada a ferramenta PAST [13] para realizar esses testes. As hipóteses a serem testadas foram as seguintes:

H₁ – Não há uma diferença estatisticamente significativa no desempenho do GA no pós-teste 1

Para testar essa hipótese foi executado o teste-*t* pareado usando as médias do pré e pós-teste 1 do GA, alcançando um valor de $p = 9,6659 \times 10^{-5}$. Com 99% de confiança, pode-se rejeitar a hipótese nula e confirmar estatisticamente que o jogo impactou significativamente os resultados nos testes de desempenho, indicando que os alunos que jogaram antes das aulas ainda conseguiram aprender coisas novas sobre o conteúdo.

H₂ – Não há uma diferença estatisticamente significativa no desempenho do GB entre os pós-testes

Através das diferenças entre os pós-testes 1 e 2 do GB, também foi executado o teste-*t* pareado resultando em um valor de $p = 0,39845$. Não há dados suficientes para

rejeitar essa hipótese, logo não é possível afirmar que o jogo ainda agregou mais conhecimento após as aulas.

H₃ – Não há diferença estatisticamente significativa no desempenho total entre os grupos

Para testar essa hipótese, foi necessário primeiro verificar se as médias dos pré-testes eram equivalentes entre os grupos. Foi realizado um teste-*t* para comparação de médias, que resultou em um valor de $p = 0,916$, indicando que as médias dos grupos não apresentam diferença estatisticamente significativa e, portanto, podem ser consideradas equivalentes.

Para analisar a evolução da aprendizagem, calcularam-se os ganhos de Hake [14], normalizados pela fórmula de Marx e Cummings [15], utilizando-se os valores do pré-teste e do pós-teste 2. A média geral do ganho foi de 0,449 para o Grupo A (GA) e 0,310 para o Grupo B (GB). A aplicação do teste-*t* de comparação entre as médias de amostras independentes e resultou em um valor de $p = 0,171$, não rejeitando a hipótese nula, e indicando que ocorreu alguma evolução da aprendizagem de forma independente da ordem das intervenções.

H₄ – Não há diferença estatisticamente significativa no desempenho total dos alunos

Como os grupos têm médias estatisticamente equivalente no pré-teste, a análise global (juntando os grupos) torna-se mais válida, pois os grupos são comparáveis desde o início, e ela é válida para avaliar se houve melhoria geral no desempenho. Foi executado o teste-*t* pareado, entre os valores do pré-teste e pós-teste 2 na amostra total, e resultou num valor de $p = 1,4802 \times 10^{-4}$. Com 99% de confiança, pode-se rejeitar a hipótese nula e confirmar estatisticamente que houve melhoria no desempenho de forma geral entre os alunos.

4.2. Validação qualitativa

O instrumento MEEGA+ tem como propósito validar a percepção da qualidade quanto à usabilidade e a experiência de jogo [11]. Foram usadas as 32 questões, e mais duas questões com perguntas específicas de aprendizagem percebida no assunto da aula, em cinco níveis de concordância na escala *likert* (discordo totalmente (−2) a concordo totalmente (+2)), e adicionadas duas questões discursivas: “O que você mais gostou no jogo?” e “O que poderia ser melhorado no jogo?” que podiam ser respondidas opcionalmente.

O gráfico da Figura 8 apresenta os resultados das questões relacionadas à usabilidade. Pode-se notar que o jogo atingiu todas as medianas como Concordo (+1) demonstrando que ela foi avaliada positivamente pelos alunos.

O gráfico da Figura 9 apresenta os resultados das questões relacionadas à experiência de jogo. Apesar de ter sido uma validação favorável, quatro itens merecem atenção, pois uma parte da turma não concordou com as afirmações: sobre o jogo ser desafiador, sobre o jogo oferecer cooperação e/ou competição entre os jogadores, sobre as tarefas serem repetitivas ou chatas, e sobre o jogo ser imersivo.

Foram analisadas as respostas das questões discursivas e classificadas em palavras-chave visando facilitar a sua contabilização. Essencialmente, sobre a pergunta do que mais gostaram, resumindo, os alunos ficaram impressionados com a ideia do jogo, na possibilidade de experimentar os conceitos de buracos negros vencendo labirintos usando o movimento do celular. Quanto às sugestões, houve aqueles que sugeriram que o jogo executasse no sistema iOS (3), mais missões com diferentes tipos de labirintos e outros tipos de atividades (17),

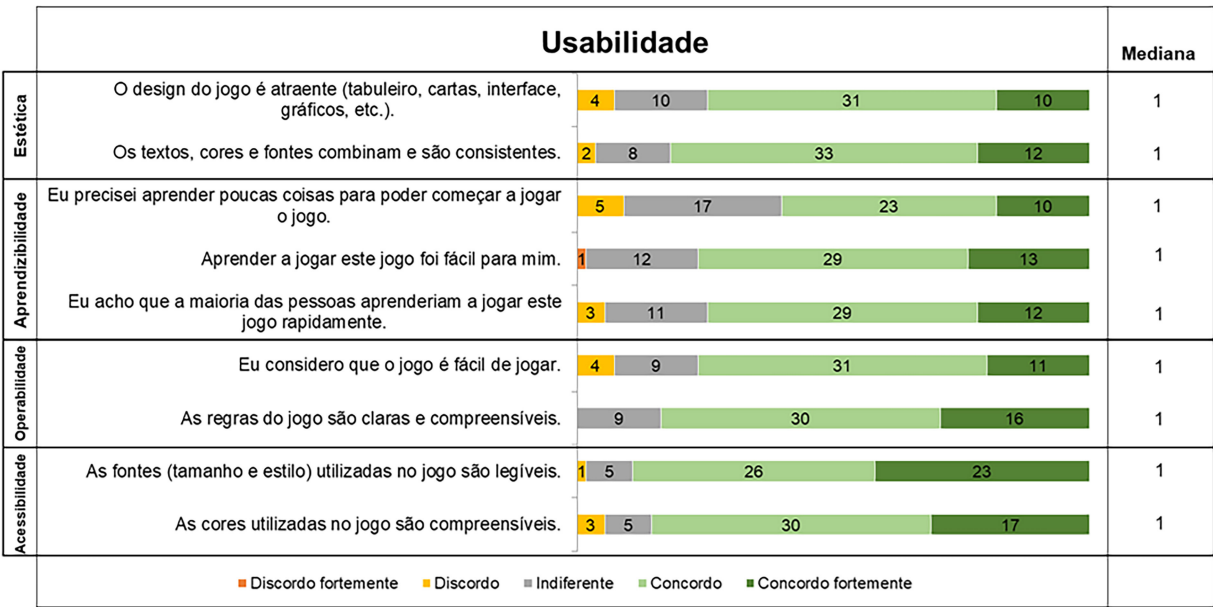


Figura 8: Fatores validados quanto à usabilidade do jogo.

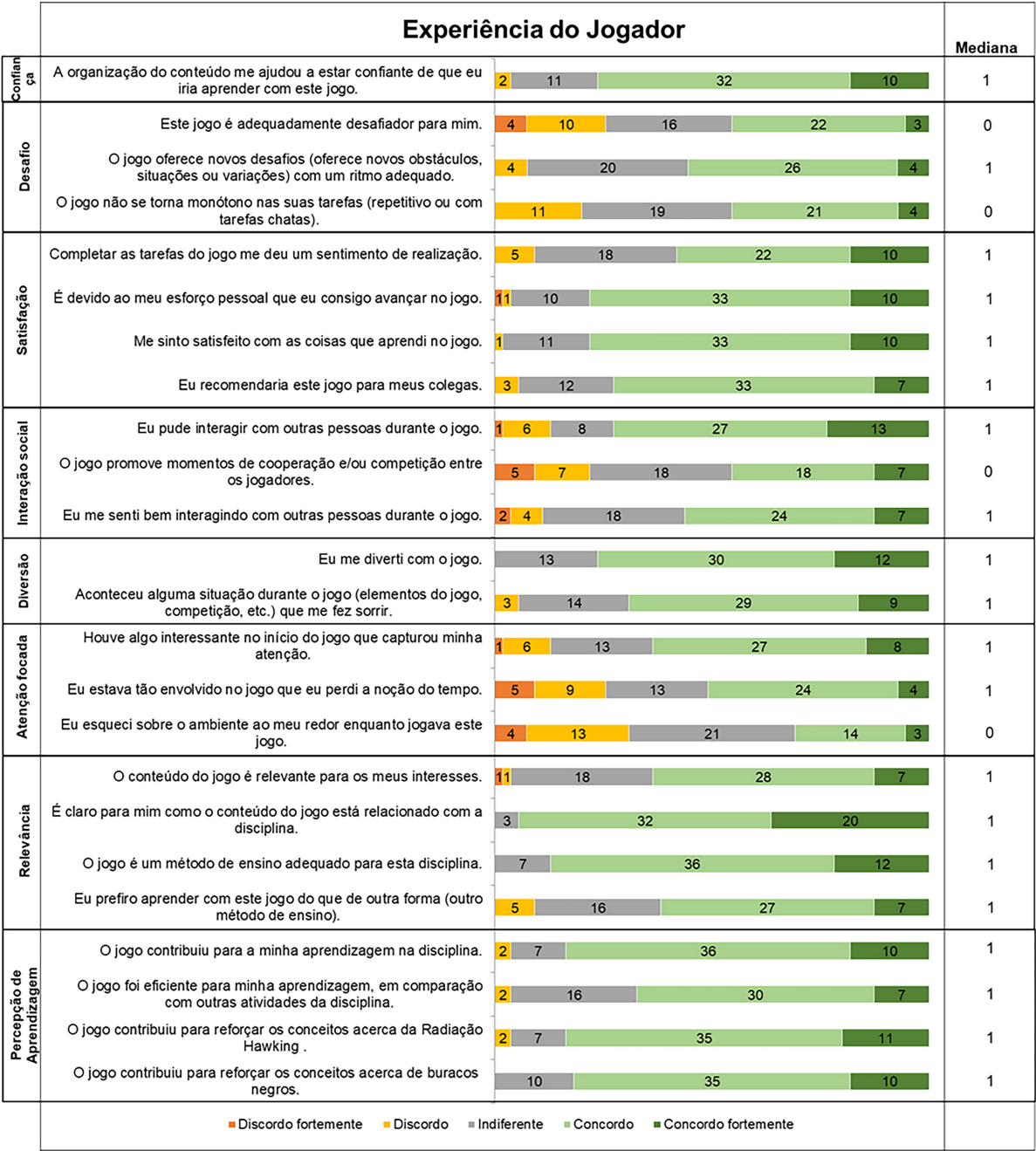


Figura 9: Fatores validados quanto à experiência do jogo.

e ainda alguns sugeriram que os diálogos fossem mais curtos ou com possibilidade de pular (8) e correções de erros (8).

5. Discussões dos Resultados

Ao observar os resultados do GB (Figura 7), pode-se pressupor que os alunos estavam fatigados ou desmotivados em responder a terceira avaliação (Pós-teste 2). A experiência foi conduzida em duas aulas na sequência. Apesar do professor comentar que esses alunos já estão se preparando para o ENEM e vestibulares, as questões

(Tabela 2) carecem de interpretação e análise profunda para serem bem respondidas. Uma possibilidade para reduzir o cansaço proveniente do desgaste, e inclusive para permitir que o conhecimento se solidifique, o ideal seria as duas aulas fossem aplicadas em dias alternados. Em relação às hipóteses, elas podem ser interpretadas da seguinte maneira:

- O jogo foi significativamente eficiente para introduzir aos novatos os conceitos de buracos negros e radiação Hawking (rejeitando a H_1);
- Não há evidências suficientes para afirmar que o jogo seja significativamente eficiente para ser usado

como reforço do assunto visto em aula (não rejeitar a H_2);

- Não há evidências suficientes para determinar se é melhor usar o jogo antes ou depois da aula (não rejeitar a H_3). Os ganhos de aprendizagem não foram significativamente diferentes entre os grupos, ou seja, ambos os grupos evoluíram independente da ordem de aplicação do jogo e da aula. Apesar das médias serem inferiores do GB em relação ao GA, através do desvio padrão nos dois grupos, pode-se constatar que existe muita variabilidade nos dados. De modo geral, os alunos evoluíram;
- Ao utilizar uma metodologia que incorpora a ludicidade com jogos, foi possível constatar o aumento no desempenho dos alunos em ambas as turmas (rejeitando a H_4).

É importante destacar a diferença observada entre os escores médios do pós-teste 1 do GA e do pós-teste 2 do Grupo B. Embora esperássemos que o jogo promovesse ganhos de aprendizagem significativos independentemente da ordem das atividades, os resultados sugerem que seu uso como introdução ao conteúdo foi mais eficaz do que como reforço após uma aula tradicional. Uma possível explicação para essa discrepância é que os alunos do GB podem ter apresentado menor engajamento ou motivação após a exposição prévia ao conteúdo de forma tradicional, ou que a abordagem inicial utilizada na aula tradicional não tenha favorecido plenamente o aproveitamento posterior do jogo. Outra hipótese é que o efeito de novidade e exploração ativa, mais presente para os alunos do GA, tenha potencializado os ganhos de aprendizagem. Reforçamos, assim, a necessidade de estudos adicionais que explorem o impacto da ordem e do contexto de aplicação de jogos educacionais no processo de aprendizagem.

Na validação qualitativa, quanto à experiência do jogador, a concordância (+1) de todos os itens na dimensão “Percepção de Aprendizagem”, que é a confiança dos alunos em terem aprendido com o jogo, é refletida nos testes de hipóteses que foram baseados na análise dos testes de desempenho.

Em duas questões da dimensão “Desafio”, a maioria dos alunos respondeu com indiferença sobre o item do jogo ser desafiador e monotonia de suas tarefas. Corroborando com esse resultado, de acordo com as sugestões, 17 alunos gostariam de ver outros tipos de desafios no jogo. Logo, apesar de terem aprendido os assuntos abordados no jogo, e estarem impressionados com a ideia do jogo (que foi a resposta da imensa maioria do que gostou no jogo), eles ansiavam por outros tipos de tarefas no jogo, além de vencer labirintos e encontrar buracos negros.

Sobre a dimensão “Interação social”, em dois dos três itens houve Concordância, indicando que houve interação física (conversas e discussões) entre os alunos em sala, até porque foi necessário o empréstimo de celulares àqueles que tinham celulares com sistema operacional

iOS. Porém, o item do jogo promover momentos de competição e/ou cooperação, também foi respondido pela maioria com indiferença. Uma sugestão simples para promoção da competição no jogo é adicionar um quadro com o *ranking* ou a classificação dos alunos [16], inclusive, com diferentes formas de classificar de acordo com aquilo que mais interessa prepará-los, seja pela quantidade de tempo, ou modificadores usados.

O último item que apresentou a maioria com a resposta de indiferença foi na dimensão “Atenção focada” sobre o segundo item que se refere à imersão. Pelas sugestões, 16 alunos comentaram não se sentirem confortados com o maior tempo de leitura dos diálogos ou com os erros no jogo. Apesar do tempo de espera ser de 12 segundos para aparecer o botão [Avançar] na leitura dos diálogos, possivelmente esse tempo poderia ser reduzido. Porém, simplesmente “pular” esses diálogos não seria o ideal por conterem parte das instruções de aprendizagem. Para estabelecer o tempo ideal, seria interessante cronometrar o tempo de leitura de umas cinco pessoas distintas, de preferência cursando o ensino médio, e a partir daí obter a média. Outra possível solução seria a implementação de mecanismos que incentivem a leitura e a compreensão dos diálogos, como recompensas, ao mesmo tempo em que se mantém a fluidez e a atratividade do jogo. Os erros no jogo referiam-se essencialmente pela bolinha conseguir sair da área do labirinto quando as paredes sumiam, ou na dificuldade de resposta do acelerômetro com o jogo. No primeiro caso, a bolinha poderia imediatamente reiniciar no centro do labirinto, mas ela caía indefinidamente, sendo necessário o jogador reiniciar o desafio. No segundo caso, a maior dificuldade no desenvolvimento desse tipo de jogo está no fato da compatibilidade e sensibilidade com dispositivos de diferentes marcas. De qualquer forma, essas situações interrompem a atenção do aluno no jogo, e acabam por influenciar nesses aspectos de imersão.

Para finalizar, vale destacar que os dois itens mais bem avaliados foram na dimensão “Relevância”: o primeiro (95% de concordância) foi a observação da relação do jogo com o assunto da aula, e o jogo é um método de ensino adequado para a disciplina (87% de concordância). O primeiro item foi alcançado com a intensa colaboração do professor da disciplina, que contribuiu tanto nos assuntos do jogo como nos testes. O segundo item é sustentado pelos resultados da quarta hipótese, que demonstram melhoria no desempenho após a experiência combinada do jogo e das aulas, reforçando o potencial da abordagem híbrida.

6. Considerações Finais

Este trabalho explorou o uso de um jogo digital do gênero *puzzle* como ferramenta de apoio ao ensino de física, com foco em buracos negros e na radiação Hawking. Os resultados sugerem que o jogo pode ser particularmente eficaz como ferramenta introdutória, dado seu impacto

significativo com a hipótese H1. No entanto, como a ordem das intervenções (jogo antes ou após aulas) não apresentou diferença estatística (H3), recomenda-se flexibilidade na implementação, adaptando-a ao contexto pedagógico.

Ainda, os resultados indicam que o jogo foi amplamente aceito pelos estudantes, evidenciando sua relevância como abordagem de inovação no ensino de física. O aumento geral no desempenho nos testes reforça a viabilidade de integrar jogos educativos ao processo de ensino-aprendizagem, especialmente para assuntos abstratos e complexos. No entanto, as limitações observadas, como a falta de imersão e desafios diversificados no jogo, apontam para oportunidades de melhorias futuras.

Alguns alunos sugeriram sobre a “possibilidade de pular” os diálogos, o que reflete uma tendência observada na geração atual de estudantes, que muitas vezes valorizam a jogabilidade e a interatividade imediata em detrimento da aprendizagem profunda, especialmente em áreas complexas como as Ciências. Para amenizar esse problema, duas possíveis soluções podem ser consideradas: (1) mensurar o tempo médio de leitura dos alunos e ajustar a duração dos diálogos com essa métrica; e (2) oferecer recompensas vinculadas ao conteúdo dos diálogos, incentivando os alunos a prestarem atenção nas informações apresentadas.

Com a utilização do movimento da mão, pôde-se adaptar um jogo de raciocínio para um jogo ativo. Contudo, utilizar o acelerômetro como uma interface do jogo demonstrou ser um grande desafio devido à diferença de comportamentos entre os diferentes modelos de dispositivos móveis.

Logo, para trabalhos futuros, recomenda-se a inclusão de novas mecânicas de jogo que promovam maior interação social, com elementos de competição e cooperação, além da redução de falhas técnicas. Tais aprimoramentos poderão tornar a experiência mais dinâmica e envolvente, maximizando os benefícios pedagógicos do uso do jogo no ensino.

O download do jogo pode ser realizado em <https://www.udesc.br/ceavi/gamelab/tccs/luisfelipedasilva>. O código-fonte do projeto está disponível em <https://github.com/adilsonv77/mysterious-chase>.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Professor Vinicius Andre Guckert Marquez e aos alunos do Primeiro Ano do Ensino Médio do Colégio de Aplicação do Centro Universitário para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí pela disponibilidade no desenvolvimento e testes no jogo.

Referências

- [1] M.A. Moreira, Rev. Bras. Ensino Fís. **43** Suppl 1, e20200451 (2021).
- [2] J.R. Silva, J.S.E. Germano e R.S. Mariano, Rev. Bras. Ensino Fís. **33**, 1508 (2011).

- [3] M.A. Pires e E.A. Veit, Rev. Bras. Ensino Fís. **28**, 241 (2006).
- [4] M.A.M. Souza, A.C.S. Nascimento, D.F. Costa e O. Ferreira, Rev. Bras. Ensino Fís. **41**, e20180124 (2019).
- [5] F.V.S. Diniz e C.A. Santos, Rev. Bras. Ensino Fís. **41**, e20180268 (2019).
- [6] L. Grachinski, S. Carvalho, A. Koscianski e A. Hornes, em: *Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências* (Florianópolis, 2000).
- [7] S. Rogers, *Level up: The guide of great video game design* (John Wiley & Sons, West Sussex, 2010).
- [8] K.D. Squire, Educ. Technol. **45**, 8 (2005).
- [9] A. Filatro e S.M.C. Bileski, *Produção de conteúdos educacionais* (Saraiva, São Paulo, 2015).
- [10] W.G. Gramacho, *Introdução à metodologia experimental* (Edgard Blücher, São Paulo, 2023).
- [11] G. Petri, C.G. von Wangenheim e A.F. Borgatto, *MEEGA+: A Method for the Evaluation of Educational Games for Computing* (Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018).
- [12] W.R. Shadish, T.D. Cook e D.T. Campbell, *Experimental and Quasi-Experimental Designs for Generalized Causal Inference* (Houghton, Mifflin, 2002).
- [13] Ø. Hammer, D.A.T. Harper e P.D. Ryan, Palaeontol. Electron. **4**, 9 (2001).
- [14] R.R. Hake, Am. J. Phys. **66**, 64 (1998).
- [15] J.D. Marx e K. Cummings, Am. J. Phys. **75**, 87 (2007).
- [16] A. Vahldick, M.J. Marcelino e A.J. Mendes, Rev. Bras. Informática na Educ. **29**, 1337 (2021).