

Quanto cabe na sua mochila? Análise da carga cognitiva em um jogo educacional sobre complexidade algorítmica

Jeniffer Macena^{1,2}, Fernanda Pires¹, Elaine H. T. Oliveira², Marcela Pessoa¹

¹Escola Superior de Tecnologia – Universidade do Estado do Amazonas (EST-UEA)
ThinkTED Lab - Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação em tecnologias emergentes

²Programa de Pós-Graduação em Informática (PPGI)
Instituto de Computação – Universidade Federal do Amazonas (IComp-UFAM)

{jeniffer.souza, elaine}@icomputam.ufam.edu.br,

{fpires, mspessoa}@uea.edu.br

Abstract. *Assessing cognitive load in games is essential to align interaction design with the player's cognitive capacity, ensuring immersion and facilitating learning. However, including non-contributory elements, especially in complex contexts such as computing problems, can harm learning. The purpose of this study is to investigate how cognitive load influences game design and players' perspectives. For this, a game about the Backpack Problem is analyzed, which used NASA-TLX and MEEGA+ to evaluate the dimensions associated with the cognitive effort of students in computing courses from the 3rd to the 8th period. Results indicate that the cognitive load was considered moderate by the students, but that it is still unbalanced in some phases, suggesting the presence of elements that cause cognitive overload.*

Resumo. *A avaliação da carga cognitiva em jogos é essencial para alinhar o design de interação à capacidade cognitiva do jogador, assegurando imersão e facilitando a aprendizagem. No entanto, a inclusão de elementos não contributivos, especialmente em contextos complexos como problemas de computação, pode prejudicar a aprendizagem. O objetivo deste estudo é investigar como a carga cognitiva influencia o design do jogo e a perspectiva dos jogadores. Para isso, um jogo sobre Problema da Mochila é analisado, ao qual utilizou-se o NASA-TLX e o MEEGA+ para avaliar as dimensões associadas ao esforço cognitivo de estudantes de cursos de computação do 3º ao 8º período. Resultados indicam que a carga cognitiva foi considerada moderada pelos estudantes, mas que ainda é desbalanceada em algumas fases, sugerindo a presença de elementos que causam sobrecarga cognitiva.*

1. Introdução

A aplicação de jogos no contexto educacional tem sido um objeto constante de estudos para pesquisadores, devido aos seus benefícios em abordar conteúdos pedagógicos de forma lúdica e com isso proporcionar motivação e engajamento para estudantes [Yu et al. 2021]. Esses jogos, quando construídos adequadamente, podem auxiliar na compreensão e eventual aprendizagem de diversos conteúdos, incluindo os de natureza complexa da área de computação, como a classe de problemas NP-completos – cujas soluções podem demorar bilhões de anos para serem resolvidas [Goldreich 2010].

Compreender conceitos complexos, como o uso de algoritmos envolvidos em problemas NP-completos, exige uma abordagem estruturada devido à sua natureza abstrata e à necessidade de alto processamento cognitivo [Robins 2019], na qual requer mais tempo para serem resolvidos, o que pode levar à frustração dos jogadores se não forem organizados adequadamente [Kirschner et al. 2009]. Nesse sentido, jogos educacionais podem auxiliar nesse processo ao permitir que os estudantes pratiquem a decomposição do problema em partes menores e gerenciáveis, utilizando, por exemplo, simulações e programação visual para tornar esses conceitos mais acessíveis e compreensíveis [Guzdial 2019].

Embora existam alternativas para auxiliar na compreensão desses assuntos, há uma dificuldade em conciliar os elementos projetados no jogo, diversão e conteúdo educacional. Uma possível razão para isso é a quantidade de informação que o cérebro tende a processar por vez, sendo uma função limitada [Robins 2019]. A memória de trabalho é essencial para a realização de tarefas cognitivas complexas, pois é onde as informações são temporariamente mantidas e manipuladas [Diamond 2013, Sweller 1994]. Segundo Miller [1956], capacidade da memória de trabalho foi considerada em torno de 7 ± 2 itens, o que significa que a maioria das pessoas pode processar entre cinco e nove elementos simultaneamente. Ao utilizar itens que não estejam diretamente associados a esses mecanismos, pode-se causar uma sobrecarga cognitiva [Feinberg and Murphy 2000].

A qualidade desses artefatos tende a considerar mecanismos que utilizem canais de processamento da informação [Mayer 2009], como sons, representações visuais e textuais, para tornar a experiência mais agradável e memorável para o jogador. No entanto, ao criar esses elementos sem balancear os aspectos criativos e divertidos para o público-alvo, pode-se acabar desmotivando implicitamente os jogadores de continuar as atividades com jogos [Gee 2003].

Uma forma estudada para viabilizar o entendimento dos assuntos por meio de jogos e adaptá-los conforme a perspectiva dos estudantes é considerar a quantidade de esforço mental investido pelo aprendiz, conforme defendido pela Teoria da Carga Cognitiva (CLT)[Sweller et al. 1998]. Ouellette et al. [2019] mostram o uso de um jogo digital para alfabetização de adultos, utilizando a CLT para ajustar a dificuldade do jogo. Eles realizam isso analisando a curva de dificuldade da jogabilidade e fazendo ajustes para reduzir a carga extrínseca e otimizar a carga germânica, que refere-se ao esforço mental dedicado à construção e consolidação de esquemas de conhecimento. Por exemplo, seções do jogo que eram muito difíceis foram redesenhadas para serem mais acessíveis, mantendo os jogadores engajados sem sobrecarregar sua memória de trabalho. Contudo, pouco se vê como adaptar os elementos de interface para auxiliar na intermediação dos conteúdos com o design de Experiência do Usuário (UX), especialmente em jogos educacionais que tratam de temas complexos e abstratos, como os encontrados na teoria da computação.

Este trabalho apresenta uma análise da carga cognitiva aplicada aos elementos de *game design* do jogo educacional *My Name* [Nascimento et al. 2023], que trata sobre o problema da mochila para estudantes de graduação em Licenciatura em Computação e Sistemas de Informação. Para investigar tais aspectos, foram considerados os objetivos instrucionais por fases e associados às dimensões dos questionários NASA-TLX [Hart and Staveland 1988] e MEEGA+ (*Model to Evaluate Educational Games*)

[Petri et al. 2016], visando entender a relação entre usabilidade, perspectiva de aprendizagem e quantidade de esforço mental ao completar as fases do jogo. Como resultados obtidos, foram levantadas possíveis melhorias aplicáveis à interface do jogo e como a carga cognitiva pode ser reduzida na jornada do aprendiz.

O trabalho está organizado como segue: na Seção 2, a fundamentação teórica sobre a carga cognitiva e aprendizagem em jogos; na Seção 2.1, os trabalhos relacionados; na Seção 3, a metodologia; na Seção 4 estão os resultados e avaliações, e na Seção 5 as considerações finais.

2. Carga cognitiva em jogos e computação

A Teoria da Carga Cognitiva é uma teoria instrucional baseada na estrutura fundamental da memória de trabalho e da memória de longo prazo. Ela foi desenvolvida para ajudar a entender a quantidade de recursos mentais necessários para aprender uma nova informação e como otimizar o uso desses recursos em ambientes educacionais [Kalyuga et al. 2004, Paas et al. 2003, Sweller et al. 1998]. De acordo com Sweller et al. [1998], identificam-se três tipos principais de carga cognitiva: i) Carga Intrínseca, que se relaciona à complexidade inerente do conteúdo de aprendizagem, considerando o objetivo de aprendizagem e o conhecimento prévio do aprendiz; ii) Carga Extrínseca, referente ao esforço cognitivo adicional decorrente da maneira como a informação é apresentada, o qual não contribui diretamente para a aprendizagem; e iii) Carga Relevante (ou germânica), que diz respeito ao processamento, construção e automatização de esquemas de conhecimento, incentivado por uma apresentação adequada da informação, facilitando a aprendizagem significativa.

Nos jogos educacionais, a carga cognitiva deve ser cuidadosamente equilibrada para otimizar o aprendizado. Isso pode ser feito por meio de vários métodos, como a implementação de curvas de dificuldade bem planejadas, que aumentam gradualmente a complexidade das tarefas à medida que o jogador progride [Plass et al. 2015]. Um bom design de jogo incorpora o princípio do “fluxo” [Csikszentmihalyi 1990], onde a dificuldade do jogo é ajustada para estar sempre um pouco acima da habilidade atual do jogador [Sharek and Wiebe 2014], mantendo-o engajado e motivado sem causar frustração. Desta forma, alguns elementos são utilizados para captar a atenção dos seus usuários, podendo ser associados à jornada do herói, contribuindo para o fluxo de imersão ao serem realizadas missões.

Ao aumentar a carga relevante, é necessário criar cenários que não apenas avaliem o conhecimento do jogador, mas também exijam que ele aplique e se aproprie do que aprendeu, consolidando as memórias de longo prazo. Isso pode incluir a introdução de problemas de alta interatividade, onde os jogadores precisam combinar várias habilidades e conhecimentos para encontrar uma solução, promovendo assim uma aprendizagem duradoura [Plass et al. 2020].

Além disso, a carga extrínseca pode ser reduzida usando interfaces intuitivas, instruções claras e evitando sobrecarregar o jogador com informações desnecessárias [Mayer and Moreno 2010]. No contexto do presente estudo, que avalia a carga cognitiva em um jogo sobre problema da mochila, é essencial considerar princípios para facilitar a abstração de conceitos da computação, partindo da perspectiva do estudante como protagonista. Nos estudos de Mayer [2005], um dos aspectos abordados é a criação centrada

no aprendiz, onde ele sugere que o design de instruções multimídia deve começar com uma compreensão da teoria da aprendizagem, como a teoria do processamento dual, que melhora a apresentação de material verbal e visual para facilitar o processamento cognitivo e sugere princípios, que serão avaliados nesse estudo, na qual considera a arquitetura cognitiva humana.

2.1. Trabalhos relacionados

Para entender como a carga cognitiva é aplicada em jogos educacionais, podemos consultar a literatura, onde alguns trabalhos identificam os elementos de jogos utilizados e os avaliam por meio de medidas subjetivas. O estudo Rodrigues et al. [2023] teve como objetivo aplicar jogos educacionais para avaliar a carga cognitiva de estudantes na educação inclusiva, criando diretrizes de acessibilidade para jogos sérios inclusivos. Foi utilizada a técnica *Think Aloud*, na qual os estudantes com necessidades especiais verbalizavam seus pensamentos durante as tarefas, permitindo identificar barreiras de usabilidade e medir a carga cognitiva. Dois jogos sérios, “Memory Games” e “CogniFit”, foram adaptados para esta análise, focando no desempenho dos estudantes ao executar as tarefas propostas.

Ao analisar outros parâmetros que consideram desempenho dos jogadores com questionários, o trabalho de Appel et al. [2021] avalia os três tipos de carga cognitiva: intrínseca, extrínseca e germânica, manipulando a carga cognitiva intrínseca através da variação da dificuldade das tarefas, enquanto mantém a carga cognitiva extrínseca constante. A avaliação da carga cognitiva é realizada utilizando rastreamento ocular para medir a dilatação da pupila e outras métricas relacionadas ao olhar, questionários de autorrelato como o NASA-TLX para avaliar a carga de trabalho percebida, e algoritmos de aprendizado de máquina para analisar e classificar a carga cognitiva com base nesses dados. Os resultados mostraram uma alta correlação entre as estimativas do algoritmo de classificação e os autorrelatos dos participantes, com uma precisão de classificação variando entre 63,78% e 69,25%, demonstrando robustez em cenários de aplicação realista.

Na pesquisa de Sevcenko et al. [2021], a carga cognitiva no jogo sério “Emergency” foi avaliada utilizando duas métricas principais: o NASA-TLX e a Densidade de Ação Temporal (TADD). O objetivo era validar essas métricas para refletir diferenças entre cenários e prever o desempenho dos jogadores. A TADD, que mede a densidade de ações em períodos específicos para avaliar a carga cognitiva, foi calculada nos primeiros minutos de jogo e previu com precisão o sucesso, especialmente no cenário de Acidente de Trem. As avaliações subjetivas pelo NASA-TLX mostraram aumento da carga cognitiva percebida conforme a dificuldade dos cenários aumentava. O TADD inicial teve um poder preditivo comparável ao questionário, sugerindo que os estágios iniciais do jogo são mais informativos. As diferenças entre cenários indicam que o TADD pode ser mais adequado para fases de máxima carga cognitiva.

O presente trabalho se distingue dos demais em três aspectos principais: (i) utiliza a ferramenta MEEGA+ para avaliar a usabilidade e a experiência do jogador, proporcionando uma análise qualitativa abrangente dos elementos de design do jogo, com foco nas percepções e necessidades dos estudantes, enquanto outros estudos focam em diferentes abordagens e métricas; (ii) concentra-se em um jogo digital projetado para exercitar conteúdos sobre o Problema da Mochila, avaliando os elementos de jogabilidade com aprendizagem para estudantes de computação de diferentes níveis de conhecimento; e

(iii) sugere melhorias baseadas na Teoria Cognitiva da Aprendizagem Multimídia para minimizar a sobrecarga cognitiva dos usuários durante o jogo, uma abordagem de design instrucional.

3. Metodologia

O objetivo deste estudo é investigar o impacto de diferentes elementos de design do jogo educacional na carga cognitiva dos jogadores e como isso pode afetar a aprendizagem. Para isso, as ferramentas a serem utilizadas serão: um jogo que foi criado baseado no Problema da Mochila [Nascimento et al. 2023], um questionário de autopercepção sobre carga cognitiva (NASA-TLX) [Hart and Staveland 1988] e o modelo de avaliação MEEGA+, que considera a experiência do usuário e usabilidade da ferramenta educacional. A Figura 1 representa o fluxo utilizado para realização desse estudo, que abrange as seguintes etapas: Planejamento, Aplicação do Jogo, Coleta de Dados e Análise de Dados.



Figura 1. Processo de realização do estudo.

Na etapa de planejamento, os participantes desse estudo foram estudantes de Sistemas de Informação (N=7) e Licenciatura em Computação (N=20), com a faixa etária dos 19 aos 23 anos da Universidade do Estado do Amazonas. O motivo para seleção destes foi influenciado por terem conhecimento prévio sobre problema da mochila e familiaridade básica com jogos digitais.

3.1. Aplicação do jogo

Descrição do Jogo: O jogo educacional *My Name* foi desenvolvido como uma ferramenta complementar para estudantes de graduação em cursos de computação que estudam conceitos de otimização em teoria da computação, especificamente o Problema da Mochila. O jogo combina mecânicas de *gameplay* com elementos educativos para auxiliar na compreensão desse conceito computacional. O level design do jogo é baseado na Teoria da Carga Cognitiva e visa equilibrar a dificuldade dos níveis para não sobrecarregar os jogadores. Cada fase do jogo apresenta um conjunto de inimigos que o jogador deve derrotar na ordem correta para formar palavras e resolver desafios baseados no Problema da Mochila. Na Figura 2, são apresentadas as telas do jogo, desde o tutorial, passando pelas fases subsequentes até a fase final (Figura 2(b)), bem como a tela de conclusão de fase (Figura 2(c)).



Figura 2. Telas do jogo.

A narrativa do jogo segue a jornada de uma mulher chamada Andarilha, convocada pelo criador do universo para reconstruí-lo. O mundo foi consumido por monstros que devoraram todas as palavras, e conseqüentemente, todos os conceitos, seres e significados deixaram de existir. O papel de Andarilha é capturar as letras dos monstros para reconstruir o mundo, adicionando elementos visuais ao cenário à medida que avança nas fases (Figura 2(a)). A mecânica de aprendizagem no jogo envolve o jogador formar palavras escolhidas coletando letras na sequência correta. O jogador enfrenta inimigos que possuem letras e valores associados, e deve selecionar estrategicamente quais letras coletar para maximizar a pontuação. Isso exige que o jogador resolva um problema similar ao Problema da Mochila, onde é necessário escolher um subconjunto ordenado de letras de modo que a soma dos valores não ultrapasse um valor máximo e nem fique abaixo de um valor mínimo. O sucesso na formação das palavras resulta na materialização dos conceitos no cenário do jogo.

Carga Cognitiva no Jogo: Para avaliar o jogo *My Name*, foram definidas as tarefas a serem realizadas pelos jogadores e analisados os elementos de design previamente projetados. Na Tabela 1, são apresentados os modelos de carga cognitiva associados aos elementos de *game design* utilizados no experimento. Observou-se que a carga cognitiva foi gerenciada no design do jogo por meio de mecânicas simplificadas, como a captura de itens sem a necessidade de controles complexos – o personagem apenas colide com o inimigo. Além disso, verificou-se que foram minimizadas distrações na mecânica de progressão: a cada nível, a dificuldade aumenta gradualmente, com o acréscimo de inimigos e a diversificação dos tipos de inimigos encontrados em cada fase.

Procedimento de Aplicação: O jogo foi aplicado em sessões de 1 hora e 40 minutos, em turmas diferentes (disciplina de Banco de Dados e Organização e Arquitetura de Computadores - OAC). Os jogadores foram instruídos a realizar a tarefa (jogar) até onde desejasse. Ambas as turmas receberam as mesmas instruções e acompanhamento durante o uso do jogo.



Figura 3. Aplicação do jogo na Universidade.

Tabela 1. Aplicação dos tipos de carga cognitiva no jogo.

Tipo de Carga Cognitiva	Aplicação no Jogo
Carga Cognitiva Intrínseca	Exigência de compreensão dos desafios sobre o Problema da Mochila; Aumento da complexidade conforme o jogador progride nos níveis.
Carga Cognitiva Extrínseca	Necessidade de navegação pelo jogo e interação com a interface; Compreensão da narrativa e interação com Personagens Não Jogáveis (NPCs); Elementos de jogo necessários para a progressão, mas não ligados diretamente ao aprendizado, como a captura de uma palavra, que oferece recompensas lúdicas como sons e animações.
Carga Cognitiva Germânica	Aplicação prática de conceitos aprendidos (e.g., seleção de itens para otimização); Construção de esquemas mentais e aplicação de estratégias de resolução de problemas; Tarefas que desafiam o jogador a aplicar teorias na prática dentro do jogo.

3.2. Instrumentos de coleta de dados

O questionário NASA-TLX foi aplicado ao final de cada sessão para avaliar a carga cognitiva percebida pelos participantes após jogar. Para isso, é utilizado para medir a carga de trabalho percebida em seis dimensões, cada uma avaliada em uma escala de 0 a 100 para as seguintes questões: i) Demanda mental: esforço mental necessário; ii) Demanda física: esforço físico requerido; iii) Demanda Temporal: Pressão temporal sentida; iv) Desempenho: Autoavaliação do sucesso na tarefa; v) Esforço: Trabalho mental e físico; vi) Nível de frustração: sentimentos de insegurança, estresse ou irritação.

Quanto ao modelo MEEGA+ [Petri et al. 2016], foi utilizado ao final do período de intervenção para verificar a perspectiva de aprendizagem e avaliar a experiência dos usuários com o jogo. O processo de avaliação incluiu a disponibilização de um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, garantindo a confidencialidade ética da participação dos estudantes.

3.3. Grupos Experimentais

As condições do experimento foram definidas para duas turmas com o seguinte procedimento: ambos os grupos receberam instruções claras sobre o objetivo de aprendizado antes de jogar. Para verificar a carga cognitiva em aspectos gerais, pode-se considerar estes grupos:

- **Grupo 1:** Estudantes que já tiveram experiência prévia com o problema da mochila, seja em cursos anteriores, como a matéria de Projeto e Análise de Algoritmos (PAA), ou em outras disciplinas relacionadas à teoria da computação. Esses estudantes já possuem uma base de conhecimento sobre o tema.
- **Grupo 2:** Estudantes que afirmaram não ter experiência prévia com o problema da mochila. Estes estudantes não estudaram o problema em nenhuma disciplina anterior e não possuem conhecimento prévio específico sobre este tópico de teoria da computação.

4. Resultados e Discussão

Nesta seção são apresentados os resultados encontrados com as avaliações do jogo em diferentes momentos, bem como a discussão dos resultados.

4.1. Análise da Carga Cognitiva (NASA-TLX)

Os dados foram avaliados utilizando a escala Likert de 7 pontos para medir a carga cognitiva percebida em seis dimensões do NASA-TLX: Demandas Mentais, Demandas Físicas, Demandas Temporais, Desempenho, Esforço e Frustração. Cada participante (N=27) atribuiu uma pontuação para cada dimensão. As médias dessas pontuações foram calculadas somando-se todas as pontuações dos participantes para cada dimensão e dividindo pelo número de participantes. A média total foi obtida somando-se as médias de todas as dimensões e dividindo por seis. A carga cognitiva foi classificada como baixa (1 a 2,66), moderada (2,67 a 5,33) ou alta (5,34 a 7). No geral, verificou-se que a carga cognitiva, segundo os estudantes, foi moderada, com um índice de 4,46. No NASA-TLX, esse valor indica um nível equilibrado de carga cognitiva percebida pelos participantes, sugerindo que os estudantes sentiram uma carga que não era nem muito baixa, nem extremamente alta, mas sim em um nível moderado.

Os resultados obtidos com o NASA-TLX para o jogo *My Name* são apresentados na Tabela 2. A dimensão de demanda mental obteve uma média de 4,78, indicando um nível de esforço cognitivo elevado, sugerindo tarefas complexas que requerem tomada de decisões e memorização. No jogo isso pode incluir a resolução da fase, ao escolher a palavra que será formada na história e capturar as letras conforme o peso atribuído. As escolhas estratégicas, como considerar o valor mínimo e máximo, também exigem que o jogador reflita em suas tomadas de decisão, enquanto pratica o conceito do Problema da mochila.

A demanda física foi avaliada com uma média de 3,52, apontando para uma necessidade moderada de interação física, como manipulação de controles (teclado e mouse) ou interação com elementos no jogo. Embora a demanda física em um jogo de computador seja geralmente baixa, esta dimensão pode se referir ao esforço físico necessário para interagir com o jogo, como alguns participantes demonstraram ao movimentar o personagem pelo teclado e visualizar a história, tendo que clicar para avançar cada etapa da história. A avaliação pode incluir a ergonomia da interface do jogo e o conforto físico do jogador durante a jogabilidade.

Tabela 2. Pontuações médias das dimensões do NASA-TLX

Dimensão	Média
Demanda Mental	4.78
Demanda Física	3.52
Demanda Temporal	4.04
Desempenho	5.26
Esforço	4.93
Frustração	4.22
Carga Cognitiva Total	4.46

Em termos de demanda temporal, a média foi de 4,04, refletindo uma percepção

moderada de urgência entre os jogadores, sugerindo que as tarefas precisavam ser completadas em prazos específicos, criando um ritmo rápido, mas não excessivo. Observa-se que, embora os jogadores tenham sido instruídos a jogar até a fase que desejassem, alguns estudantes podem estar preocupados quanto ao tempo para finalizar a aula, onde estava sendo feito o estudo. A dimensão de desempenho teve uma média de 5,26, o que sugere que os jogadores, em geral, se sentiram bem-sucedidos ao completar as tarefas propostas no jogo. Esse valor, que está relativamente próximo do limite superior da escala (7 pontos), reflete positivamente sobre o design do jogo, indicando que ele foi estruturado de maneira a permitir que os jogadores alcançassem seus objetivos com sucesso. Uma possível explicação para isso foi a facilidade que os estudantes encontraram para concluir as fases inicial e final, o que tornou a experiência mais marcante ao avaliarem o jogo. Alguns comentaram que seria interessante expandir a quantidade de fases.

O esforço dedicado, com uma média de 4,93, demonstra que os jogadores investiram um nível considerável de esforço mental e físico para alcançar seus objetivos, sugerindo que os desafios são claros o suficiente para justificar esse esforço nas fases. Por fim, a dimensão de frustração teve uma média de 4,22, apontando para níveis moderados de estresse e irritação durante as tarefas, indicando que, apesar dos desafios, o jogo é equilibrado o suficiente para manter uma experiência positiva. Alguns estudantes da segunda aplicação (turma de OAC) comentaram que, por ser uma aula que acontece no período da noite, esperavam mais elementos que pudessem ser adquiridos para ganhar vidas ou animações no *storyboard* para tornar o jogo mais agradável. Além disso, mencionaram falhas no design dos botões, que não foram suficientemente intuitivos (por exemplo, botão para a tela inicial ou de pular história).

4.2. Avaliação da Aprendizagem (MEEGA+)

Ao aplicar o MEEGA+, foi possível identificar com mais precisão os elementos do jogo que contribuíram para a experiência dos jogadores, assim como aqueles que podem ter resultado em aumento da carga cognitiva ou dificuldades na aprendizagem. Especificamente, a análise destacou: i) Elementos de Interface: Problemas de navegação e usabilidade que dificultaram o fluxo do jogo; ii) Desafios de Jogo: Níveis ou tarefas que não estavam alinhados com as habilidades dos jogadores, resultando em frustração ou desmotivação; Componentes Estéticos: Aspectos visuais que impactaram a motivação e o envolvimento dos jogadores.

Na Tabela 3 são listadas algumas falas dos participantes em relação à avaliação final acrescentada sobre a aprendizagem e jogabilidade da ferramenta avaliada. Quanto ao comentário dos participantes, pode-se analisar que a fala do P1 (Participante 1) refere-se a um dos impedimentos ocorridos ao iniciar o jogo, não atingindo uma heurística de usabilidade sobre o controle e liberdade do usuário, visto que o jogador pode escolher uma opção na tela por engano. Já na fala do P2, observa-se que a dificuldade dos níveis apresenta inconsistências na distribuição de conteúdos. Ao verificar a ferramenta, nota-se que o ajuste das mecânicas e dificuldades pode ser melhorado a partir de uma sequência didática e especificações a partir do currículo de computação, apresentando desde os conceitos iniciais no jogo até a prática sobre o Problema da Mochila. Quanto ao P3, é ressaltada a jogabilidade por meio de inimigos, que possuem tamanhos e comportamentos diferentes, são alternados em todas as fases para desafiar o jogador enquanto tenta formar palavras.

Tabela 3. Avaliação dos elementos do jogo.

Itens	Falas dos estudantes	Tela do Jogo
Elementos de Interface	P1: “Quando você clica no botão de jogar, você não consegue voltar para a inicial”	 Tela de História
Desafios de Jogo	P2: “Achei a fase 3 mais difícil do que a fase 4 e a fase 5 mais fácil que todas essas (3, 4 e 5) que mencionei. Isso não é exatamente ruim, acho que só precisaria reorganizar a ordem das fases pra ficar mais equilibrado”	 Tela na Fase 3
Componentes Estéticos	P3: “O que mais gostei do jogo foi como os “inimigos” foram implementados, movimentação ótima e condizente com os objetivos do jogo”	 Inimigos

Ao verificar as respostas do formulário¹, nota-se que a dimensão com a maior porcentagem de aprovação foi a Diversão, onde 85% dos participantes atribuíram uma alta nota na escala Likert, representado um valor de 5, indicando que acharam a atividade muito divertida. Esta avaliação positiva reflete um aspecto importante na teoria da carga cognitiva: a capacidade do jogo de manter os estudantes engajados e motivados, reduzindo a carga cognitiva extrínseca e promovendo uma experiência de aprendizagem mais fluida e eficaz. Verificando a perspectiva dos estudantes, este índice demonstra que o ambiente de aprendizagem foi percebido como agradável e envolvente, o que potencialmente facilita uma melhor retenção de informações e um aprendizado mais profundo. A satisfação geral foi alta, com 80% dos participantes dando uma nota de 4 ou mais, mostrando que o design da atividade proporcionou uma experiência estimulante.

No entanto, a dimensão de Desafio apresentou uma variação, com 70% dos participantes classificando a atividade como desafiadora (nota 4 na escala Likert), sugerindo a necessidade de ajustes para evitar possíveis sobrecargas cognitivas que possam impedir a assimilação ideal do conteúdo.

Ao verificar quantos estudantes já cursaram PAA (grupo 1), que aborda o Problema da Mochila na UEA, nota-se que 81,5% ainda não cursaram e 5% já tiveram experiência com a matéria. Entre os que cursaram, a maioria considerou o nível de dificuldade moderado, com 33,3% indicando dificuldade neutra e apenas 7,4% relatando dificuldades com o assunto. Além disso, na dimensão de Aprendizabilidade (capacidade

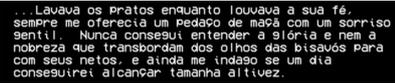
¹Gráficos Meega+: <https://drive.google.com/file/d/1GIW6rXhDR9eooGNVIcS9K5uVmJcJq6PC/view?usp=sharing>

de aprendizado), 25,9% dos estudantes classificaram como muito fácil aprender a jogar, enquanto apenas 7,4% acharam difícil. Em relação aos “Objetivos de aprendizagem”, 80% do público concordou que os objetivos foram claros e alcançáveis. No entanto, é importante notar que, embora vários participantes tenham relatado facilidade e clareza nos objetivos, poucos estudantes localizaram que o jogo se trata sobre o que é o Problema da Mochila, sugerindo uma possível discrepância entre a percepção de aprendizado e a compreensão real do conteúdo. Essa diferença pode ser explicada pela complexidade intrínseca do Problema da Mochila e pela necessidade de uma base sólida em algoritmos e matemática, que muitos dos participantes podem ainda não ter.

4.3. Aprendizagem Multimídia no Jogo

Foram localizados seis princípios de aprendizagem multimídia no jogo *My Name* por uma especialista em jogos educacionais. Estes princípios estão alinhados com os doze princípios de Richard Mayer, que são amplamente reconhecidos na área de design instrucional e multimídia. A Tabela 4 resume os princípios de aprendizagem multimídia aplicados no jogo, suas localizações específicas e as figuras representativas:

Tabela 4. Tabela de Princípios de Aprendizagem Multimídia

Princípio	Localização no Jogo	Figura
Princípio da Sinalização	Tela de introdução: seta indicando como funciona os elementos de HUD	
Princípio da Contiguidade Espacial	Menu de opções: é exibido apenas quando o usuário clica no botão de configuração, com os elementos organizados na vertical	
Princípio da Contiguidade Temporal	Tutorial de combate: apresentado no início do jogo explicando como funciona a fase	
Princípio da Coerência	Feedback da fase: é exibido apenas os nomes resolvidos no mundo do jogo	
Princípio da Personalização	Narrativa sobre o problema da mochila: é descrita de forma conversacional pela protagonista, ao invés de uma explicação direta sobre o assunto	
Princípio da Redundância	Tela de resultados	

Alguns princípios não foram localizados explicitamente durante o processo de avaliação, sugerindo a necessidade de verificação no design. Por exemplo: i) Princípio da modalidade: poderia ser aplicado por meio da narração falada pela protagonista, em vez de texto escrito, somado à imagem da personagem; ii) Princípio da multimídia: explicações em seções tutoriais sobre o que é o problema da mochila; iii) Princípio da

segmentação: ao considerar a divisão dos assuntos, permitindo que os estudantes controlem melhor seu ritmo de aprendizado; iv) Princípio de conceitos prévios; v) Princípio da imagem do narrador nas fases e telas finais de finalização do jogo.

5. Considerações Finais

Este trabalho apresentou avaliação da carga cognitiva aplicada aos elementos de *game design* do jogo educacional My Name, que trata sobre o problema da mochila para estudantes de graduação em computação. Para isso, foi realizado um experimento na Universidade do Estado do Amazonas com a aplicação dos formulários NASA-TLX e MEEGA+. Estes foram escolhidos para avaliar as características do jogo e identificar como a complexidade do jogo pode ser melhorada para facilitar o exercício do conteúdo. Os resultados indicam que o jogo ajuda na prática do conteúdo, porém, há necessidade de implementar *feedbacks* e ajustar a dificuldade entre as fases. Essas melhorias refletem na adaptação da interface do jogo aos princípios da aprendizagem multimídia e nas melhorias baseadas nas necessidades apontadas pelos jogadores.

Adicionalmente, foi identificado que a linguagem poética utilizada, assim como a presença de *bugs*, influenciaram o esforço mental investido no jogo. Em contrapartida, o desafio de desviar de obstáculos ou inimigos motivou alguns jogadores a praticarem o conteúdo e avançarem nas fases, especialmente aqueles com experiência prévia no tema abordado. Para os jogadores sem familiaridade com o conceito do problema da mochila, houve a necessidade de esclarecimentos adicionais sobre o conteúdo apresentado no jogo, embora tenham relatado diversão durante a experiência de jogo.

No entanto, observa-se uma ameaça à validade das avaliações subjetivas sobre os assuntos aprendidos, devido à possível influência de estudantes mais familiarizados com o tema, que auxiliaram seus colegas. Além disso, o tempo de aplicação, limitado ao período disponibilizado pelo professor, embora não tenha sido um impedimento direto, pode ter influenciado o desempenho de alguns alunos, que necessitaram de mais tempo para resolver determinadas fases. As limitações deste estudo incluem também a dificuldade de generalização dos resultados, uma vez que a amostra de estudantes de Licenciatura em Computação foi menor em comparação à dos estudantes de Sistemas de Informação, o que pode ter influenciado a representatividade dos dados.

As implicações práticas para educadores e desenvolvedores, com base nos achados desta pesquisa, incluem: i) reduzir a carga cognitiva extrínseca com interfaces simples e focadas no conteúdo; ii) garantir uma progressão gradual da dificuldade para manter o engajamento, para o jogo ser desafiador, mas não frustrante; iii) incorporar o aprendizado na jogabilidade, permitindo que os jogadores adquiram conhecimentos enquanto jogam, sem interrupções ou instruções diretas que possam reduzir sua motivação; iv) fornecer feedback claro e imediato; e v) avaliar a experiência do jogador. Em trabalhos futuros, serão implementadas métricas de desempenho, como análise da curva de jogo, nível de engajamento e tempo de conclusão, para avaliar a carga cognitiva através da captura de dados, levando em conta os impactos dos ajustes sugeridos neste estudo.

6. Agradecimentos

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

Este trabalho foi parcialmente financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas – FAPEAM – por meio do projeto PDPG/CAPES. Além disso, esta pesquisa, realizada no âmbito do Projeto Samsung-UFAM de Ensino e Pesquisa (SUPER), de acordo com o Artigo 39 do Decreto nº10.521/2020, foi financiada pela Samsung Eletrônica da Amazônia Ltda, nos termos da Lei Federal nº8.387/1991, através do convênio 001/2020 firmado com a UFAM e FAEPI, Brasil. Também recebeu apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq (Processo 303443/2023-5).

Referências

- Appel, T., Gerjets, P., Hoffman, S., Moeller, K., Ninaus, M., Scharinger, C., Sevchenko, N., Wortha, F., and Kasneci, E. (2021). Cross-task and cross-participant classification of cognitive load in an emergency simulation game. *IEEE Transactions on Affective Computing*.
- Csikszentmihalyi, M. (1990). *Flow: The Psychology of Optimal Experience*. Harper Row, New York.
- Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual review of psychology*, 64(1):135–168.
- Feinberg, S. and Murphy, M. (2000). Applying cognitive load theory to the design of web-based instruction. In *18th Annual Conference on Computer Documentation. ipcc sigdoc 2000. Technology and Teamwork. Proceedings. IEEE Professional Communication Society International Professional Communication Conference an*, pages 353–360. IEEE.
- Gee, J. P. (2003). What video games have to teach us about learning and literacy. *Computers in entertainment (CIE)*, 1(1):20–20.
- Goldreich, O. (2010). *P, NP, and NP-Completeness: The basics of computational complexity*. Cambridge University Press.
- Guzdial, M. (2019). Computing for other disciplines. *The Cambridge handbook of computing education research*, pages 584–605.
- Hart, S. G. and Staveland, L. E. (1988). Development of nasa-tlx (task load index): Results of empirical and theoretical research. In *Advances in psychology*, volume 52, pages 139–183. Elsevier.
- Kalyuga, S., Chandler, P., and Sweller, J. (2004). When redundant on-screen text in multimedia technical instruction can interfere with learning. *Human factors*, 46(3):567–581.
- Kirschner, F., Paas, F., and Kirschner, P. A. (2009). A cognitive load approach to collaborative learning: United brains for complex tasks. *Educational psychology review*, 21(1):31–42.
- Mayer, R. (2009). Multiple learning.
- Mayer, R. E. (2005). *The Cambridge handbook of multimedia learning*. Cambridge university press.
- Mayer, R. E. and Moreno, R. E. (2010). Techniques that reduce extraneous cognitive load and manage intrinsic cognitive load during multimedia learning.

- Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological review*, 63(2):81.
- Nascimento, L. T., Honda, F., Melo, D., Pessoa, M., Oliveira, E. H., Fernandes, D., and Pires, F. G. (2023). My name: desenvolvimento de um conjunto de mecânicas para abordar o problema da mochila em um jogo educacional. In *Anais do XXXIV Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*, pages 888–899. SBC.
- Ouellette, M., Breeding, L., and Clark, C. (2019). Using applied cognitive load theory and difficulty analysis for educational game design for understanding and transference of literacy skills in adults. In *Proceedings of the 14th International Conference on the Foundations of Digital Games*, pages 1–11.
- Paas, F., Renkl, A., and Sweller, J. (2003). Cognitive load theory and instructional design: Recent developments. *Educational psychologist*, 38(1):1–4.
- Petri, G., von Wangenheim, C. G., and Borgatto, A. F. (2016). Meega+: an evolution of a model for the evaluation of educational games. *INCoD/GQS*, 3.
- Plass, J. L., Homer, B. D., and Kinzer, C. K. (2015). Foundations of game-based learning. *Educational psychologist*, 50(4):258–283.
- Plass, J. L., Mayer, R. E., and Homer, B. D. (2020). *Handbook of game-based learning*. Mit Press.
- Robins, A. V. (2019). 12 novice programmers and introductory programming. *The Cambridge handbook of computing education research*, page 327.
- Rodrigues, G. C., dos Santos, G. R., dos Santos, R. R., Rodrigues, S. C., and Nogueira, T. d. C. (2023). Aplicação e avaliação de jogos sérios na mensuração cognitiva de estudantes na educação inclusiva. In *Anais do VIII Congresso sobre Tecnologias na Educação*, pages 212–221. SBC.
- Sevcenko, N., Ninaus, M., Wortha, F., Moeller, K., and Gerjets, P. (2021). Measuring cognitive load using in-game metrics of a serious simulation game. *Frontiers in Psychology*, 12:572437.
- Sharek, D. and Wiebe, E. (2014). Measuring video game engagement through the cognitive and affective dimensions. *Simulation & Gaming*, 45(4-5):569–592.
- Sweller, J. (1994). Cognitive load theory, learning difficulty, and instructional design. *Learning and instruction*, 4(4):295–312.
- Sweller, J., Van Merriënboer, J. J., and Paas, F. G. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational psychology review*, 10:251–296.
- Yu, Z., Gao, M., and Wang, L. (2021). The effect of educational games on learning outcomes, student motivation, engagement and satisfaction. *Journal of Educational Computing Research*, 59(3):522–546.