

Desenvolvimento do Jogo Educativo Missão Sustentável: Especificação Formal e Estratégia de Testes

Allyson da S. Felix

UFERSA

Pau dos Ferros, Brasil

allyson.felix@alunos.ufersa.edu.br

Carlos Henrique D. Abrantes

UFERSA

Pau dos Ferros, Brasil

carlos.abrantes@alunos.ufersa.edu.br

Francisco Daniel Costa de Souza

UFERSA

Pau dos Ferros, Brasil

francisco.souza83483@alunos.ufersa.edu.br

Francisco Lailson de Almeida

UFERSA

Pau dos Ferros, Brasil

francisco.almeida37444@alunos.ufersa.edu.br

Resumo—A crescente preocupação com os impactos ambientais decorrentes das ações humanas evidencia a importância da adoção de práticas sustentáveis. Este trabalho apresenta o desenvolvimento do jogo educativo Missão Sustentável, cujo objetivo é promover a conscientização ambiental por meio de uma abordagem lúdica e interativa, alinhada ao Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 12 (ODS 12) – Consumo e Produção Responsáveis. O jogo baseia-se em mecânicas de coleta, separação e descarte correto de resíduos, organizadas em fases progressivas. Para garantir a qualidade e consistência do software, foram definidos requisitos funcionais e não funcionais, e realizada a especificação formal utilizando a Notação Z. Aplicaram-se técnicas de verificação e validação através de testes de caixa branca e caixa preta, assegurando o correto funcionamento das funcionalidades e conformidade com os requisitos estabelecidos. Os resultados indicam que o jogo apresenta comportamento consistente e adequado aos seus objetivos educacionais, demonstrando o potencial dos jogos digitais como ferramentas de apoio à educação ambiental.

Index Terms—Jogos educativos, Sustentabilidade, Reciclagem, ODS 12, Testes de software, Notação Z

I. INTRODUÇÃO

A crescente necessidade de cuidados com o planeta, decorrente dos impactos ambientais provocados pelas ações humanas, levou a Organização das Nações Unidas (ONU) à elaboração dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Diante desse cenário, tornou-se essencial disseminar informações que conscientizem a população sobre práticas sustentáveis e a adoção de comportamentos responsáveis. Uma estratégia eficaz para alcançar esse objetivo consiste em utilizar ferramentas já presentes no cotidiano das pessoas, como os jogos eletrônicos, que se consolidaram ao longo dos anos como um meio de entretenimento acessível e amplamente difundido.

Com o avanço tecnológico e a popularização dos jogos digitais, esses recursos passaram a ser utilizados não apenas para diversão, mas também como instrumentos pedagógicos capazes de promover a aprendizagem de forma lúdica. Assim,

tem crescido o interesse por jogos educativos que abordem temáticas relevantes, incluindo a educação ambiental e a reciclagem. A inserção desses assuntos em ambientes interativos favorece o engajamento dos usuários e facilita a compreensão de práticas sustentáveis, contribuindo para a formação de uma consciência ambiental.

Nesse contexto, foi desenvolvido o jogo **Missão Sustentável**, cujo objetivo é integrar educação e entretenimento ao abordar conteúdos relacionados à ODS 12 – Consumo e Produção Responsáveis. O jogo busca incentivar os usuários a compreenderem a importância do descarte correto de resíduos, utilizando mecânicas lúdicas que envolvem coleta e classificação de materiais em recipientes adequados.

Para garantir o desenvolvimento adequado do projeto, foram elaborados todos os artefatos necessários, desde o levantamento de requisitos até a especificação formal utilizando a Notação Z. Além disso, a verificação e validação do software foram conduzidas por meio de técnicas de testes de caixa branca e caixa preta, assegurando a conformidade com os requisitos definidos e a qualidade funcional do jogo.

II. DESENVOLVIMENTO

A. Contexto e Motivação

Devido às ações humanas e consumo desenfreado, o depósito de resíduos em locais inadequados acarreta degradação do meio ambiente, pela presença de materiais de difícil decomposição, como plásticos, metais e vidros. Portanto, uma das medidas importantes para auxiliar na conservação da natureza é a reciclagem. Ações como o consumo responsável e descarte de resíduos em locais adequados potencializam a redução desses problemas. Essas práticas são enfatizadas pela ODS 12 – Consumo e Produção Responsáveis, que destaca a necessidade de reduzir a geração de resíduos e aprimorar métodos de coleta e reciclagem.

Uma das fundamentais ações para auxiliar na resolução desses problemas parte da educação e conscientização. Sendo

uma das potenciais ferramentas auxiliadoras dessa meta a utilização dos jogos educativos, devido à possibilidade dos jogadores absorverem com maior facilidade as potenciais lições transmitidas.

O jogo Missão Sustentável possui o intuito de transmitir esses ensinamentos baseados na ODS 12, possibilitando aos usuários compreenderem em quais locais de coleta devem ser descartados os materiais com base no tipo do resíduo. Por meio de mecânicas, o jogo busca estimular o conhecimento sobre o descarte correto e sua importância para a construção de uma consciência sustentável.

B. Especificação do Jogo “Missão Sustentável”

A ferramenta de entretenimento é baseada no funcionamento das possibilidades de ações de um personagem e sua interação com os lixos presentes no mapa, com o intuito de realizar a coleta. A partir dessa ação, o usuário poderá depositar em recipientes corretos, com base no tipo de resíduo, sendo beneficiado com o acerto e penalizado com o reinício da fase quando incorreto, mas com explicações sobre a forma ideal de descarte a ser realizado.

A estrutura elaborada no jogo é baseada em fases e seus níveis de dificuldade, sendo a fase inicial com base em lixeiras para depósito de itens genéricos. Com o decorrer das fases, a quantidade de tipos de lixeiras e a quantidade de itens começam a aumentar até o limite, na fase final, de 6 lixeiras e 2 itens de cada tipo. Contudo, analisado para o melhor aproveitamento do usuário para o momento de entretenimento, foi inserido um personagem, de categoria vilão, que ao entrar em contato com o personagem principal, a fase será reiniciada.

1) *Requisitos Funcionais:* O funcionamento do jogo Missão Sustentável foi organizado a partir de requisitos funcionais bem definidos, que orientam todas as interações do usuário com o sistema e asseguram a coerência entre jogabilidade, objetivos educacionais e regras do jogo.

No início, conforme RF01, o usuário acessa o sistema por meio de um *nickname*. O jogo verifica se esse identificador já está cadastrado; caso esteja, o progresso previamente salvo é carregado, permitindo retomar a partida de onde foi interrompida. Quando se trata de um novo jogador, o sistema registra o *nickname* e inicia um novo progresso. Em seguida, atendendo ao RF02, o usuário é encaminhado ao menu inicial, onde são disponibilizadas opções como iniciar um novo jogo, continuar uma partida salva ou encerrar o uso do sistema.

Ao escolher iniciar um novo jogo, em conformidade com RF03, a primeira fase é carregada com todos os contadores e estados devidamente reinicializados. A partir desse momento, o jogador assume o controle do personagem principal, cuja ação central consiste em coletar resíduos espalhados pelo mapa, de acordo com RF04. Cada item coletado é armazenado em uma sacola virtual, que representa o avanço do usuário em relação às metas da fase em andamento.

A medida que os resíduos são recolhidos, o jogador progride no cumprimento dos objetivos estabelecidos para cada etapa, conforme RF05. Quando a coleta é finalizada, o usuário deve se dirigir ao centro de reciclagem do cenário para descartar

corretamente os materiais, atendendo a RF06. Nessa etapa, o sistema apresenta lixeiras específicas para cada tipo de resíduo e exige que o jogador faça a associação adequada. O descarte correto é condição obrigatória para concluir a fase, enquanto erros acionam explicações sobre o destino apropriado de cada material, reforçando o caráter educativo do jogo.

Após finalizar uma fase intermediária de forma correta, o sistema exibe uma tela de transição que, em atendimento a RF07, permite ao usuário escolher a próxima ação, como avançar para a fase seguinte ou retornar ao menu inicial. Essa dinâmica oferece maior controle sobre a experiência de uso e respeita o ritmo individual do jogador.

Na fase final, é introduzido um elemento adicional de desafio: um inimigo (*boss*) que persegue o personagem. De acordo com RF08, caso o jogador entre em contato com esse inimigo, a fase é automaticamente reiniciada, exigindo a repetição dos objetivos daquela etapa. Esse recurso aumenta o nível de dificuldade e contribui para manter o engajamento.

Por fim, em conformidade com RF09, ao cumprir todos os objetivos da última fase e realizar corretamente o descarte dos resíduos, o jogador conclui o jogo. Nesse momento, o sistema apresenta uma mensagem de incentivo relacionada à importância das práticas sustentáveis e desativa a opção de continuar a partida, indicando que todo o progresso foi finalizado.

2) *Exemplos de Aplicação dos Requisitos:* Com o objetivo de evidenciar a aplicação prática dos requisitos funcionais definidos, apresentam-se exemplos específicos relacionados às fases do jogo.

a) *Fase 1:* O jogo introduz o usuário às mecânicas básicas de interação. Existe apenas uma lixeira de caráter geral, e o objetivo consiste na coleta de cinco resíduos distribuídos pelo mapa. Após a realização do *login* (RF01) e a inicialização de uma nova partida (RF03), o jogador executa a coleta dos resíduos (RF04) até atingir a meta estabelecida (RF05). Em seguida, o usuário se dirige ao centro de reciclagem para efetuar o descarte (RF06). Concluída corretamente a fase, o sistema apresenta uma tela com opções de continuidade ou retorno ao menu inicial (RF07).

b) *Fase 2:* A dificuldade é ampliada por meio da introdução de duas lixeiras distintas, destinadas aos resíduos orgânicos e plásticos. O jogador deve coletar quatro itens de cada tipo, exigindo maior atenção tanto durante a coleta (RF04) quanto no momento do descarte (RF06). Caso o usuário tente descartar um resíduo em uma lixeira inadequada, o sistema bloqueia a ação e fornece uma explicação educativa, reforçando o aprendizado.

c) *Fase 3:* Acrescenta novos desafios ao disponibilizar quatro lixeiras específicas – plástico, vidro, papel e orgânico – com a exigência de três itens de cada tipo. Nessa etapa, o jogador precisa reconhecer corretamente os resíduos coletados e associá-los às lixeiras correspondentes.

d) *Fase 4:* Considerada a etapa final do jogo, são disponibilizadas seis lixeiras (plástico, vidro, papel, orgânico, metal e materiais perigosos), com a meta de coletar dois itens de cada tipo. Além disso, é introduzido um personagem

inimigo (*boss*), que persegue o jogador pelo mapa. Caso ocorra contato entre o jogador e o inimigo, a fase é reiniciada automaticamente (RF08). Ao concluir corretamente todas as etapas da fase final, o jogador finaliza o jogo (RF09), sendo exibida uma mensagem de incentivo relacionada à adoção de práticas sustentáveis.

C. Especificação Formal dos Requisitos (Notação Z)

Para evitar ambiguidades e garantir que tudo no jogo Missão Sustentável funcione de forma precisa e consistente, utilizou-se a Notação Z – uma linguagem formal baseada em lógica e teoria de conjuntos. Ela modela os estados do sistema e as operações que mudam esses estados, definindo regras claras com invariantes, pré e pós-condições.

Começamos definindo os blocos básicos: conjuntos como Usuário, Fase, Resíduo, Lixeira e Sacola. Esses formam a base para descrever o estado geral do jogo – quem está logado, qual fase está em andamento, quais já foram concluídas e o que tem na sacola de coleta. As regras principais (invariantes) incluem: o usuário precisa estar autenticado para jogar, a fase atual tem que ser válida e a sacola não pode passar da capacidade máxima da fase. Isso mantém tudo sob controle do início ao fim.

Cada requisito funcional (RF01 a RF09) ganhou uma operação formal:

- **Login (RF01):** Verifica o *nickname*, carrega o progresso salvo ou cria um novo usuário.
- **IniciarJogo (RF03):** Zera contadores e parte da fase 1.
- **ColetarResíduo (RF04):** Adiciona itens à sacola sem estourar o limite.
- **AvançarObjetivo (RF05):** Libera o centro de reciclagem quando a coleta acaba.
- **DescartarResíduo (RF06):** Só aceita o descarte certo, com lixeira compatível – e explica erros para ensinar.
- **FinalizarFaseIntermediária (RF07):** Oferece opções como “continuar” ou “voltar ao menu”.
- **Reinic平arFase (RF08):** Zera tudo se o *boss* tocar no jogador, reforçando a prática.
- **FinalizarJogo (RF09):** Mensagem de incentivo sobre sustentabilidade e fim do progresso.

No fim das contas, a Notação Z cria uma base matemática sólida para desenvolver, testar e evoluir o jogo. Ela valida se os requisitos estão de acordo e guia os casos de teste.

D. Estratégia e Plano de Testes

O plano de testes para o projeto Missão Sustentável foi estruturado para garantir a qualidade do produto final através de múltiplas abordagens e técnicas complementares. Os testes realizados tiveram como objetivo principal identificar possíveis problemas ou falhas antes do lançamento, garantindo a estabilidade e a qualidade do produto final, além de buscar por defeitos e otimizar as interações do usuário.

1) *Abordagens de Testes Utilizadas:* Para assegurar a qualidade, confiabilidade e correto funcionamento do jogo Missão Sustentável, foram adotadas diferentes abordagens de teste de software, contemplando técnicas de caixa branca e caixa preta.

A combinação dessas abordagens permite avaliar tanto a lógica interna do sistema quanto o comportamento observável a partir da perspectiva do usuário final, garantindo maior abrangência no processo de verificação e validação.

Os testes de caixa branca foram empregados com o objetivo de analisar a lógica interna do sistema e o fluxo de execução do código. Essa abordagem possibilitou a verificação de estruturas condicionais, contadores e estados internos do jogo, assegurando que as regras de negócio fossem implementadas corretamente. Dentre os testes de caixa branca utilizados, destacam-se os testes de lógica, aplicados na validação do processo de entrada e cadastro de usuários por *nickname*, bem como os testes de condição, responsáveis por verificar o estado do progresso salvo e a ativação ou desativação da opção “Continuar” no menu inicial. Adicionalmente, foram realizados testes de fluxo de dados, a fim de garantir que a coleta de resíduos incrementasse corretamente os contadores associados à sacola do jogador, além de testes unitários para validar a finalização da fase final e o comportamento esperado do sistema após a conclusão do jogo.

Por sua vez, os testes de caixa preta foram utilizados para avaliar as funcionalidades do jogo sem considerar sua implementação interna, focando exclusivamente nas entradas fornecidas pelo usuário e nas saídas produzidas pelo sistema. Essa abordagem foi aplicada nos testes funcionais, que verificaram o fluxo completo de interação do jogador, incluindo o início de uma nova partida, a coleta de resíduos, o acesso ao centro de reciclagem e a interação com o personagem inimigo (*boss*). Também foram realizados testes de integração, visando assegurar a comunicação correta entre módulos distintos do sistema, especialmente entre a mecânica de coleta de resíduos e a interface do centro de reciclagem.

A adoção dessas abordagens permitiu uma avaliação sistemática e complementar do jogo, garantindo que os requisitos funcionais definidos fossem atendidos de forma consistente e que o sistema apresentasse comportamento estável e previsível durante a execução. Dessa maneira, o processo de testes contribuiu significativamente para a qualidade final do jogo Missão Sustentável, reforçando sua confiabilidade como ferramenta educativa alinhada aos objetivos da ODS 12.

III. CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou o desenvolvimento do jogo educativo Missão Sustentável, cujo objetivo principal consiste em promover a conscientização ambiental por meio de uma abordagem lúdica, alinhada à Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 12 (ODS 12) – Consumo e Produção Responsáveis. Ao integrar entretenimento e educação, o projeto buscou estimular o aprendizado sobre o descarte correto de resíduos e a importância da reciclagem de forma acessível e interativa.

Ao longo do desenvolvimento, foram definidos e documentados os requisitos funcionais e não funcionais do sistema, garantindo uma base sólida para a implementação do jogo. A utilização da especificação formal em Notação Z possibilitou a descrição precisa dos estados e operações do

sistema, reduzindo ambiguidades e contribuindo para a consistência entre os requisitos, a implementação e o processo de verificação. Essa abordagem também se mostrou relevante como apoio à elaboração dos casos de teste, assegurando que as funcionalidades do jogo estivessem em conformidade com o comportamento esperado.

A estratégia de testes adotada, combinando técnicas de caixa branca e caixa preta, permitiu avaliar tanto a lógica interna do sistema quanto as interações do usuário com o jogo. Dessa forma, foi possível identificar e mitigar falhas relacionadas à progressão das fases, à coleta e ao descarte de resíduos, bem como à interação com o personagem inimigo na fase final. Os resultados esperados dos testes indicam que o jogo atende aos requisitos definidos e apresenta comportamento estável e coerente com seus objetivos educacionais.

Conclui-se, portanto, que o jogo Missão Sustentável constitui uma ferramenta potencialmente eficaz para o ensino de práticas sustentáveis, ao utilizar mecânicas de jogo progressivas que favorecem o engajamento e a assimilação do conteúdo. Como trabalhos futuros, sugere-se a ampliação do jogo com novos cenários, inclusão de métricas de desempenho do usuário e a realização de testes de usabilidade com o público-alvo, visando aprimorar ainda mais a experiência do jogador e o impacto educativo da aplicação.

REFERÊNCIAS

- [1] Organização das Nações Unidas. Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 12: Consumo e produção responsáveis. Agenda 2030. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Objetivo_de_Desenvolvimento_Sustent%C3%A1vel_12. Acesso em: 13 dez. 2025.
- [2] PORTINHO, J. R. Aplicação de jogos como ferramentas de ensino para o ODS 12: uma sequência didática com foco na educação para sustentabilidade nos anos iniciais. Dissertação (Mestrado em Tecnologias da Informação e Comunicação) — Universidade Federal de Santa Catarina, Araranguá, 2025. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/267742>. Acesso em: 13 dez. 2025.
- [3] PERES, L. M. Notação Z para especificação de software embarcado. Universidade Federal do Paraná. Disponível em: <https://www.inf.ufpr.br/lmperes/notacaoZ.pdf>. Acesso em: 13 dez. 2025.
- [4] POLIDO, A. M. Notação Z. Universidade Estadual de Maringá. Disponível em: <http://www.din.uem.br/~ampolido/MetodosFormais/MFI-NotacaoZ-apostila.pdf>. Acesso em: 13 dez. 2025.
- [5] SOMMERVILLE, I. *Engenharia de Software*. 9. ed. São Paulo: Pearson, 2011. Disponível em: <https://www.facom.ufu.br/~william/Disciplinas%202018-2/BSI-GSI030-EngenhariaSoftware/Livro/engenhariaSoftwareSommerville.pdf>. Acesso em: 13 dez. 2025.
- [6] ZAPTEST. Teste de caixa branca: o que é, como funciona, desafios, métricas, ferramentas e muito mais. 2023. Disponível em: <https://www.zaptest.com/pt-br/teste-de-caixa-branca-o-que-e-como-funciona-desafios-metricas-ferramentas-e-muito-mais>. Acesso em: 13 dez. 2025.
- [7] DIO. Entendendo testes de caixa preta e caixa branca. 2025. Disponível em: <https://www.dio.me/articles/entendendo-testes-de-caixa-preta-e-caixa-branca>. Acesso em: 13 dez. 2025.
- [8] GT Agenda 2030. Objetivo 12: Assegurar padrões de produção e consumo sustentáveis. Disponível em: <https://gtagenda2030.org.br/ods/ods12/>. Acesso em: 13 dez. 2025.
- [9] REVISTA BRASILEIRA DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL. Jogos sérios em sustentabilidade: uma revisão bibliográfica. Revbea, São Paulo, v. 18, n. 2, p. 184–197, 2023. Disponível em: <https://periodicos.unifesp.br/index.php/revbea/article/view/15179>. Acesso em: 13 dez. 2025.