XXI ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
14 a 16 de outubro de 2026 | Goiânia-Brasil
DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8316

Simulador em Realidade Virtual para análise comparativa de gamificação aditiva e subtrativa na segurança do trabalho

Virtual Reality Simulator for comparative analysis of additive and subtractive gamification in occupational safety

Arthur Felipe Echs Lucena
Universidade Estadual de Londrina | Londrina-PR | Brasil | afelucena@uel.br
José Luiz Miotto
Universidade Estadual de Maringá | Maringá-PR | Brasil | jlmiotto@uem.br
Hugo Sefrian Peinado
Universidade Estadual de Maringá | Maringá-PR | Brasil | hspeinado@uem.br
Guilherme Thomaz de Oliveira
Universidade Estadual de Maringá | Maringá-PR | Brasil | ra133785@uem.br
Leonardo Freneda
Universidade Estadual de Maringá | Maringá-PR | Brasil | ra133871@uem.br

Resumo

Este estudo apresenta o desenvolvimento de um simulador em Realidade Virtual (RV) para viabilizar a análise comparativa de mecânicas gamificadas aditivas e subtrativas na capacitação em segurança do trabalho na construção civil. Pautado na *Design Science Research* (DSR), o método abrangeu a modelagem paramétrica de um canteiro no Revit, integração à Unreal Engine 5.7 e compilação para o Meta Quest 3. Como resultados, consolidaram-se duas versões funcionais do artefato com cenários e tarefas de inspeção estritamente idênticos, sendo a primeira voltada a estímulos aditivos (*White Hat*, com foco em empoderamento) e a segunda a restrições subtrativas (*Black Hat*, sob escassez de tempo e penalidades). O simulador origina uma plataforma tecnológica controlada que transcende a gamificação superficial para subsidiar futuros testes empíricos sobre o engajamento e a tomada de decisão preventiva de profissionais de segurança do trabalho.

Palavras-chave: Design Science Research. Construção civil. Engajamento.

Abstract

This study presents the development of a Virtual Reality (VR) simulator to enable the comparative analysis of additive and subtractive gamified mechanics in occupational safety training within civil construction. Based on Design Science Research (DSR), the method encompassed the parametric modeling of a construction site in Revit, integration into Unreal Engine 5.7, and compilation for the Meta Quest 3. As results, two functional versions of the artifact with strictly identical scenarios and inspection tasks were consolidated, with the first applying additive stimuli (White Hat, focusing on empowerment) and the second imposing subtractive constraints (Black Hat, under time scarcity and penalties). The simulator originates a controlled technological platform that transcends superficial gamification to support future empirical tests on the engagement and preventive decision-making of safety professionals.

Keywords: Design Science Research. Civil construction. Engagement.

Como citar:
LUCENA, A. F. E.; MIOTTO, J. L.; PEINADO, H. S.; OLIVEIRA, G. T.; FRENEDA, L. Simulador em realidade virtual para análise comparativa de gamificação aditiva e subtrativa na segurança do trabalho. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 21, 2026, Goiânia. **Anais**... Goiânia: ANTAC, 2026.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8316

INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil apresenta elevados índices de acidentes de trabalho, tanto no Brasil quanto internacionalmente. No contexto brasileiro, entre os setores de atividades econômicas considerados no Anuário Estatístico da Previdência Social [1], a construção civil foi responsável por 6,09% dos acidentes totais registrados em 2024 (834.048 acidentes no total, dos quais 50.789 relacionados às atividades de construção), mantendo percentuais semelhantes nos anos anteriores. Esse cenário suscita reflexões sobre a eficácia e a eficiência da gestão da segurança nos canteiros de obras, bem como sobre o papel dos profissionais de segurança e acerca da capacitação continuada que recebem.

Em vista disso, a capacitação em segurança do trabalho na construção civil é essencial para a prevenção de acidentes e a promoção de ambientes laborais seguros. Nesse contexto, profissionais de segurança desempenham papel central na definição de procedimentos, monitoramento das atividades e garantia do cumprimento das normas. Apesar de sua relevância, observa-se uma lacuna na literatura quanto ao uso de estratégias inovadoras voltadas à capacitação continuada desses profissionais, especialmente aquelas baseadas em tecnologias digitais imersivas e gamificação [2] [3].

A Realidade Virtual (RV) surge como uma ferramenta promissora ao possibilitar a simulação de cenários interativos e realistas, favorecendo a aprendizagem experiencial [4] e representa um artifício poderoso para o treinamento em segurança, oferecendo vantagens significativas em relação aos métodos tradicionais, contribuindo para a melhoria do desempenho e da conscientização em segurança dos trabalhadores [5]. Paralelamente, a gamificação, por meio da aplicação de elementos motivacionais derivados de jogos, pode ampliar o engajamento e a retenção do conhecimento. Entre essas estratégias, destacam-se abordagens motivacionais aditivas e subtrativas, que exploram diferentes mecanismos psicológicos para influenciar o comportamento do usuário [6]. Entretanto, ainda são escassos estudos que investiguem comparativamente tais abordagens na capacitação em segurança do trabalho.

Diante disso, este estudo apresenta o desenvolvimento de um simulador em Realidade Virtual com mecânicas gamificadas aditivas e subtrativas, estruturado segundo a abordagem *Design Science Research*, visando apoiar futuras análises sobre seus impactos no processo de ensino-aprendizagem em segurança do trabalho na construção civil.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Na abordagem tradicional, os profissionais de segurança do trabalho (incluindo os técnicos de segurança) desempenham um papel central, atuando como autoridades orientadas à padronização e à conformidade nos canteiros de obras. Nesse contexto, são responsáveis por definir o que é considerado seguro, monitorar e corrigir desvios dos procedimentos prescritos, bem como assegurar que as atividades estejam

alinhadas aos planos e aos requisitos organizacionais previamente estabelecidos [7]. Nesse sentido, a Norma Regulamentadora nº 4 estabelece que obras de construção de edifícios devem contar com técnico de segurança do trabalho a partir de 101 trabalhadores no canteiro (incluindo trabalhadores próprios e terceirizados) [8]. Ainda assim, é recorrente, no contexto brasileiro, a presença desses profissionais em canteiros com menos de 101 trabalhadores, em razão da relevância de sua atuação.

Apesar de sua importância, observa-se a escassez de estudos voltados à capacitação continuada desses profissionais, especialmente por meio da gamificação e do uso de tecnologias digitais, como a Realidade Virtual (RV), o que configura uma lacuna a ser explorada. A maior parte das pesquisas envolvendo RV e gamificação concentra-se no treinamento de trabalhadores da construção, e os dados gerados posteriormente são utilizados pelos profissionais de segurança para subsidiar a definição de estratégias de gestão da segurança [2] [9].

O conceito de Realidade Virtual não é único na literatura, desdobrando-se em múltiplas definições. Muito embora o termo Realidade Virtual exista desde meados dos anos 70, a variedade de definições multifacetadas reflete, naturalmente, a evolução tecnológica, os propósitos de aplicação e o contexto histórico de cada época [10]. Segundo [4], a RV compreende um ambiente multimídia altamente interativo e totalmente imersivo, a partir do qual o usuário se torna um participante em um mundo gerado por computador. Esse mundo virtual pode ser oriundo de uma simulação de um ambiente do mundo real ou um imaginado.

Outra abordagem inovadora que pode contribuir com a capacitação de gestores de segurança é a gamificação, caracterizada pelo uso de elementos de jogos para finalidades que vão além do entretenimento. Essa estratégia fomenta a motivação e engajamento dos participantes, tornando a experiência mais prazerosa e envolvente.

O processo de gamificação proposto por [6] é baseado em oito *core drivers* (sentido épico, realização, empoderamento, propriedade, influência social, escassez, imprevisibilidade e prevenção), que consistem basicamente em estratégias psicológicas. As técnicas de gamificação que utilizam os três primeiros *core drivers* são denominadas, pelo próprio autor, de “gamificação de chapéu branco” (*White Hat*). Por outro lado, aquelas que se valem dos três últimos da lista são classificadas como “gamificação de chapéu preto” (*Black Hat*). Conforme complementa [6], um bom processo de gamificação deve considerar todos os *core drivers* na promoção de atividades positivas e produtivas.

Nesse sentido, os *core drivers White Hat* compreendem elementos de motivação que fazem os usuários se sentirem poderosos, realizados e satisfeitos. Em contraste, os Black Hat induzem os usuários dos games a se sentirem obcecados, ansiosos e viciados, apesar de serem muito fortes em motivar comportamentos [6]. Salienta-se que essas oito diretrizes podem ser divididas em relação ao tipo de motivação que buscam gerar no participante, podendo ser aditivas (quando a motivação é gerada por sensações positivas do participante, como o prazer ao acumular pontos e conquistas) ou subtrativas (quando a motivação ocorre por sensações negativas que o impedem de

interromper a atividade, como a frustração de perder todo o seu progresso ao desistir da experiência gamificada).

MÉTODO

O presente trabalho integra o escopo de um projeto de pesquisa institucional de maior amplitude, que busca desenvolver simulações de Realidade Virtual para o ensino e treinamento na área de segurança do trabalho, aplicadas a canteiros de obras, a partir do uso de técnicas motivacionais aditivas e subtrativas. Essa pesquisa foi delineada com base nos preceitos da *Design Science Research* (DSR), abordagem metodológica de caráter prescritivo, amplamente utilizada em pesquisas focadas no desenvolvimento de inovações e na formulação de soluções para problemas práticos identificados em um setor específico [11].

Nesse contexto, o presente artigo detalha o progresso alcançado nas etapas iniciais do desenvolvimento desta pesquisa fundamentada na DSR, com foco específico nas fases de: identificação do problema, sugestão de solução e desenvolvimento do artefato [11].

Ressalta-se que o projeto de pesquisa institucional matriz, que prevê a validação do artefato aqui relatado com usuários humanos, em etapas futuras, foi devidamente submetido e aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da instituição de vínculo dos autores (Parecer nº 7.152.159, de 11/10/2024).

IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA

O problema relacionado intrinsicamente com a dificuldade de absorção de conteúdos na capacitação dos gestores de segurança do trabalho nos canteiros de obras, bem como as propostas para atenuar o que foi constatado, resultou de consultas em normas regulamentadoras, livros e artigos publicados em periódicos conceituados e anais de congressos. Para isso, foram realizadas buscas em bases de dados conceituadas, tais como Scopus, Google Acadêmico, Scielo e *Web of Science*, utilizando-se as seguintes palavras-chave, isoladamente ou em combinação, para filtrar as publicações de interesse a esta pesquisa: segurança do trabalho; construção civil; realidade virtual; gamificação; técnicas aditivas e subtrativas; e simulações em realidade virtual.

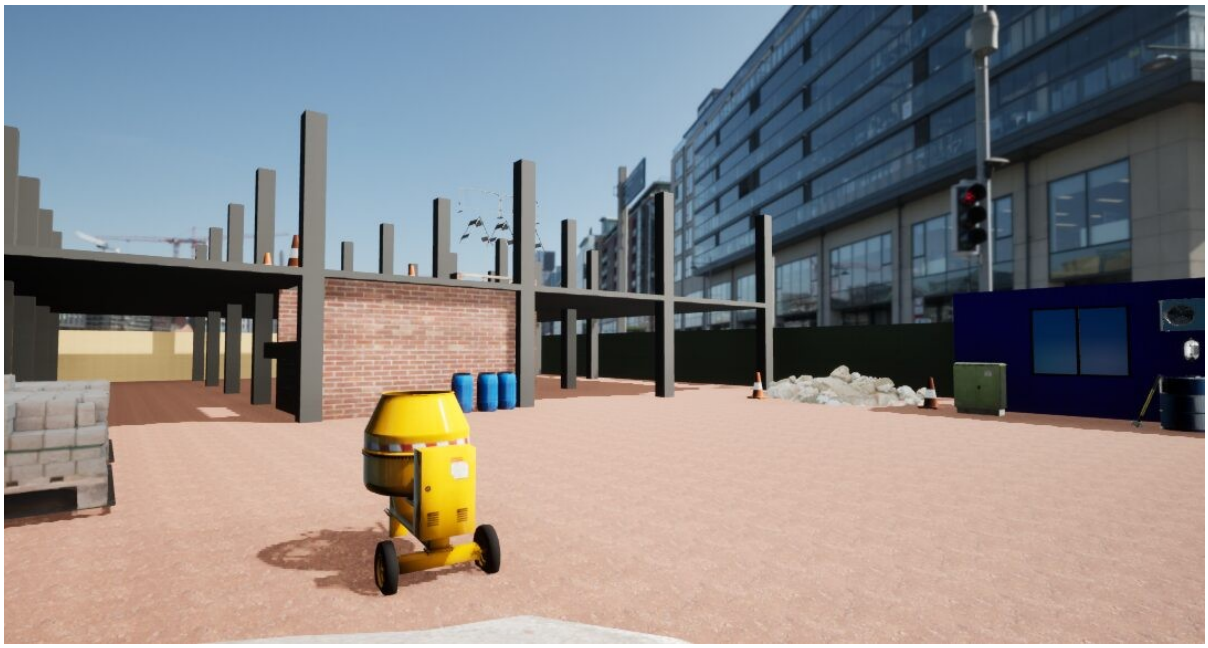
SUGESTÃO DE SOLUÇÃO E DESENVOLVIMENTO DO ARTEFATO

A partir do embasamento teórico consolidado na etapa de identificação do problema, estabeleceu-se a proposta conceitual para o simulador em RV. O objetivo central consistiu em viabilizar a comparação futura entre o uso de mecânicas gamificadas aditivas e subtrativas aplicadas à capacitação em segurança do trabalho na construção civil. A solução adotada consistiu no desenvolvimento de duas versões de um mesmo simulador: a primeira pautada preponderantemente em mecânicas aditivas (versão 1) e a segunda, em mecânicas subtrativas (versão 2). Para garantir a integridade da análise comparativa, o cenário do ambiente virtual, bem como os objetivos e as tarefas demandadas ao usuário durante a simulação, foram mantidos estritamente idênticos

em ambas as versões. Essa estratégia de controle visou isolar as variáveis da gamificação, evitando que fatores externos ao design motivacional influenciassem a coleta de dados posterior.

A modelagem tridimensional do cenário do canteiro de obras foi executada no software Autodesk Revit® 2026. Concluída a modelagem geométrica, o projeto foi exportado para a Unreal Engine 5.7 por meio do plugin Datasmith (Figura 1). Neste fluxo de trabalho, a Unreal Engine atuou como o motor principal para a programação lógica, integração de mídias e compilação do simulador, permitindo a sua renderização nativa em Realidade Virtual.

Figura 1: Cenário-base da simulação importado para a Unreal Engine



Fonte: os autores.

Após a exportação para a Unreal a simulação foi enriquecida volumetricamente com elementos e objetos tridimensionais (*props*), além de materiais e texturas disponíveis nas plataformas Fab® e Poly Haven®. O avatar representativo do trabalhador (que assume o papel de mestre de obras na versão 1, e de fiscal de segurança na versão 2) juntamente com suas respectivas malhas de animação (*rigging*), foram obtidos na plataforma Mixamo®. Todos os elementos utilizados na simulação possuíam licenciamento que permitia seu uso no contexto da pesquisa.

Para a imersão e reprodução no ambiente de Realidade Virtual, adotou-se o *Head-Mounted Display* (HMD) *Meta Quest 3*, operado por meio de seus respectivos controladores espaciais, os *Meta Quest Touch Plus*. O tráfego de dados e a sincronização em tempo real entre o *hardware* de processamento e o HMD foram estabelecidos via conexão cabeada *Quest Link* (Figura 2).

Figura 2: Setup de realidade virtual utilizado na simulação



Fonte: os autores.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O desenvolvimento do simulador, estruturado nas premissas da *Design Science Research* (DSR), culminou na concepção de um artefato focado na superação da superficialidade das abordagens tradicionais de gamificação. A ferramenta se aproxima de pesquisas anteriores que utilizaram RV para extrair dados sensoriais da tomada de decisão em trabalhos em altura [12] e no manuseio de ferramentas elétricas [13]. Contudo, enquanto soluções gamificadas reportadas na literatura frequentemente ancoram a motivação de forma genérica ou restrita à tríade básica de pontos, medalhas e placares [14], o presente artefato evidencia seu avanço científico ao transcender essas dinâmicas clássicas, permitindo testar empiricamente os impactos de estratégias gamificadas aditivas e subtrativas no ensino da construção civil.

Nesse sentido, a seguir são detalhadas as propostas de simulação desenvolvidas no escopo do presente estudo, as quais buscam transcender essas mecânicas clássicas para contribuir de forma mais robusta com o processo de ensino-aprendizagem sobre segurança na construção civil. Apresentam-se as duas propostas de versões do simulador: a primeira com ênfase em técnicas motivacionais aditivas (*White Hat*) e a segunda focada em técnicas motivacionais subtrativas (*Black Hat*). No atual estágio de pesquisa, a modelagem geométrica dos cenários encontra-se finalizada, ao passo que a programação lógica das mecânicas da simulação (sistemas de missões, interações com avatares e *feedback* ao usuário) permanece em fase de desenvolvimento e prototipagem, podendo sofrer refinamentos.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8316

VERSÃO 1: ABORDAGEM ADITIVA

A versão do simulador fundamentada na abordagem aditiva utiliza principalmente os motores de motivação conhecidos como “Significado Épico”, “Desenvolvimento e Realização” e “Empoderamento da Criatividade” [6]. O objetivo metodológico desta vertente da simulação é avaliar a eficácia da formação de uma "cultura de segurança" pautada pelo estímulo positivo e pela reflexão ativa.

Ao iniciar a simulação, o usuário é recepcionado por um Personagem Não Jogável (PNJ) denominado “Mestre Zé”, que atua como mentor (Figura 3). Este personagem é responsável por contextualizar o usuário acerca da obra e instruí-lo a respeito da sua primeira missão: acessar o primeiro pavimento da edificação identificando, ao longo do trajeto, possíveis inconformidades de segurança. Destaca-se que a proposta de diálogo entre o usuário e o Mestre Zé busca conscientizar o usuário da relevância do seu papel na manutenção de um ambiente laboral seguro (*core drive*: significado épico), abstendo-se de linguagem punitiva ou coercitiva.

Figura 3: Personagem Não Jogável (PNJ) da simulação



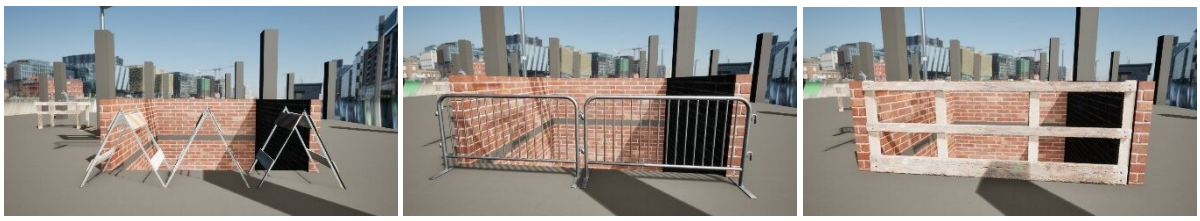
Fonte: os autores.

Após a conclusão bem-sucedida da primeira missão, o usuário é recompensado com uma condecoração simbólica, pré-requisito que o habilita a progredir para a segunda missão da experiência (*core drive*: desenvolvimento e realização). Destaca-se que esta condecoração transcende a função gamificada padrão de uma medalha (*badge*), operando neste contexto como um marcador tangível do progresso metodológico de retenção do aprendizado.

A segunda missão é ambientada no fosso do elevador, local que demanda do usuário uma intervenção espacial ativa (*core drive*: empoderamento da criatividade) para determinar o Sistema de Proteção Coletiva (SPC) mais adequado contra o risco de quedas de trabalhadores ou materiais. O sistema apresenta diferentes opções de proteções (Figura 4), e o usuário deve selecionar a opção correta. De modo análogo, na

missão final, o usuário é exposto a uma estação de carpintaria provisória contendo uma serra circular de bancada, onde deve conduzir uma inspeção investigativa para identificar a ausência de dispositivos de segurança essenciais (como coifa e cutelo divisor), exercitando a resolução ativa de problemas práticos.

Figura 4: Escolhas para a proteção do fosso do elevador



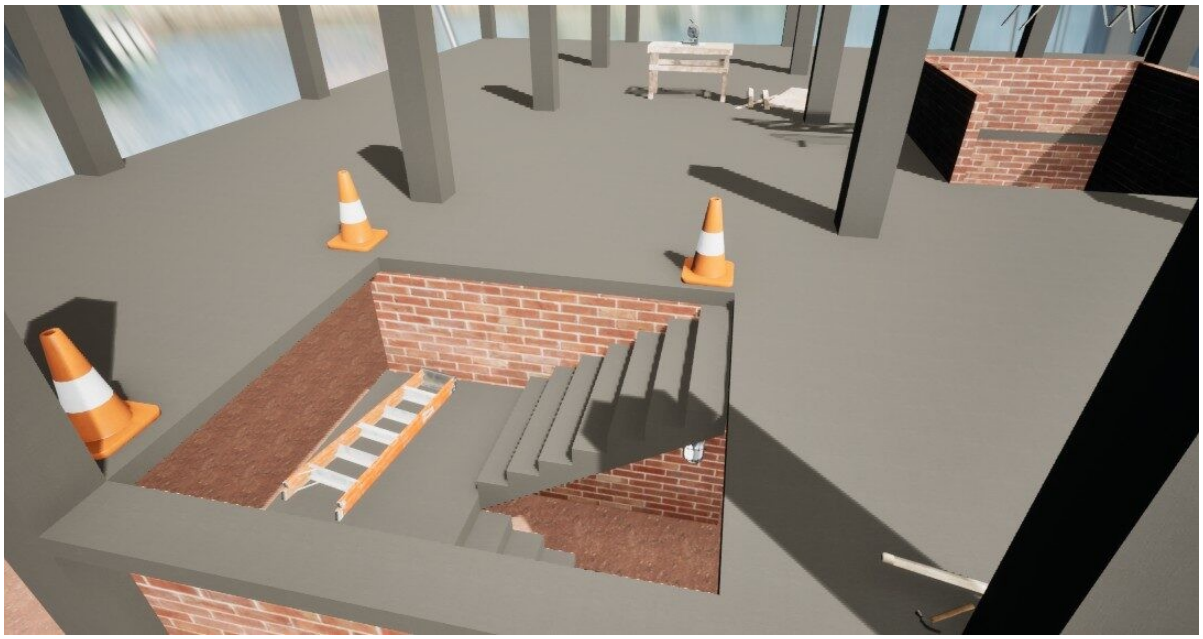
Fonte: os autores.

VERSÃO 2: ABORDAGEM SUBTRATIVA

A segunda versão do simulador testa o usuário sob condições simuladas de estresse. Fundamentada nos *Core Drives* subtrativos de “Escassez”, “Imprevisibilidade” e “Aversão à Perda” [6]. Esta versão simula as pressões inerentes a cronogramas executivos atrasados e a auditorias de fiscalização rigorosas.

Estruturalmente, a versão 2 do simulador compartilha a mesma base de cenários e missões da versão 1, sofrendo alterações focadas exclusivamente na inserção da mecânica subtrativa. No início da simulação, o Personagem Não Jogável (PNJ) agora assume a figura de um “Fiscal de Segurança do Trabalho”, com postura comportamental e verbal coercitiva. Ao direcionar o usuário para a primeira missão, ele instrui que cada falha de segurança ignorada pelo usuário, como as ferramentas obstruindo rotas de fuga ou aberturas de piso desprotegidas no vão da escada (Figura 5), será convertida na aplicação de uma "multa" (*core drive*: aversão à perda).

Figura 5: Riscos à segurança na área da escada



Fonte: os autores.

Adicionalmente, a execução das tarefas é balizada pela ativação de temporizadores regressivos rigorosos (*timers*), impondo uma janela de tempo limite para a conclusão da inspeção sem acréscimo de penalidades (*core drive*: escassez). O sistema conta ainda com gatilhos espaciais invisíveis (*checkpoints*) que computam as infrações automaticamente na pontuação geral caso o usuário transponha zonas de risco sem a prévia identificação das inconformidades (*core drive*: imprevisibilidade), forçando um estado de vigilância perimetral contínua por parte do usuário.

CONCLUSÃO

Este estudo resultou na consolidação de um simulador em Realidade Virtual concebido sob as diretrizes da *Design Science Research*, materializado em duas versões funcionais de um canteiro de obras com tarefas de inspeção idênticas. A execução do projeto comprovou a viabilidade técnica de integrar a modelagem tridimensional a motores gráficos imersivos para sobrepor mecânicas gamificadas aditivas, focadas em empoderamento, e mecânicas subtrativas, baseadas em escassez e penalidades, sobre uma mesma base operacional.

Para a área de Gestão e Tecnologia da Informação no Ambiente Construído, o simulador proposto representa uma alternativa ao treinamento passivo e aos sistemas de gamificação superficiais pautados apenas em pontuações. O artefato desenvolvido estabelece uma plataforma tecnológica controlada capaz de isolar variáveis motivacionais complexas. Isso possibilita à comunidade científica e à indústria investigar como diferentes estímulos motivacionais afetam o engajamento e o julgamento crítico do usuário diante de perigos e riscos reais no ambiente laboral.

As limitações deste estudo englobam a restrição inerente à tecnologia de RV, que permite a imersão de apenas um usuário por vez, e o escopo reduzido de situações de perigo contempladas no cenário modelado. Adicionalmente, como a pesquisa se encontra na etapa de desenvolvimento do artefato, a atual ausência de testes empíricos com usuários humanos também configura uma restrição. A partir desse cenário, direciona-se como sugestão a trabalhos futuros a aplicação das duas versões do simulador em ensaios empíricos com estudantes e profissionais de segurança do trabalho na construção civil. A coleta e análise de métricas como percepção do usuário, tempo de resposta e retenção de aprendizado permitirão avaliar quantitativamente qual abordagem de *design* motivacional induz à adoção de uma cultura de prevenção proativa e eficaz de maneira mais assertiva.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Educação Tutorial (PET - MEC/FNDE) pelo apoio financeiro concedido por meio de bolsas a coautores deste trabalho.

DECLARAÇÃO

Durante a preparação deste artigo, os autores utilizaram a ferramenta de inteligência artificial generativa Gemini 3.1 Pro para auxiliar na redação inicial, revisar a clareza e a fluidez do texto, bem como na tradução do *Abstract*. Após o uso da ferramenta, os autores revisaram e editaram o conteúdo conforme necessário e assumem total responsabilidade pelo conteúdo do artigo publicado.

REFERÊNCIAS

[1] BRASIL. Ministério da Previdência Social. **Anuário estatístico da previdência social – AEPS 2024**. Brasília, DF: Ministério da Previdência Social, 2025.

[2] YANG, F.; GOH, Y. M. VR and MR technology for safety management education: an authentic learning approach. **Safety Science**, v. 148, 105645, 2022.

[3] MAN, S. S.; WEN, H.; SO, B. C. L. Are virtual reality applications effective for construction safety training and education? A systematic review and meta-analysis. **Journal of Safety Research**, n.88, p.230-243, 2024.

[4] HUANG, W.; ROSCOE, R. D. Head-mounted display-based virtual reality systems in engineering education: A review of recent research. **Computer Applications in Engineering Education**, v. 29, n. 5, p. 1420-1435, 2021.

[5] SCORGIE, D.; FENG, Z.; PAES, D.; PARISI, F.; YIU, T. W.; LOVREGLIO, R. Virtual reality for safety training: A systematic literature review and meta-analysis. **Safety Science**, v. 171, p. 106372, 2024.

[6] CHOU, Yu-Kai. **O Método Octalysis – Gamificação**: para além dos pontos, medalhas e rankings. Veranópolis: Diálogo Freiriano, 2023. 470p.

[7] PROVAN, D. J.; WOODS, D. D.; DEKKER, S. W. A.; RAE, A. J. Safety II professionals: how resilience engineering can transform safety practice. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 195, 2020.

[8] BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora nº 4 (NR-04): serviços especializados em segurança e em medicina do trabalho**. Brasília, DF: MTE, 2022.

[9] DODOO, J. E.; AL-SAMARRAIE, H.; ALZAHRANI, A. I.; TANG, T. XR and workers' safety in high-risk industries: a comprehensive review. **Safety Science**, v. 185, 106804, 2025.

[10] BOTEGA, L. C.; CRUVINEL, P. E. **Realidade Virtual: Histórico, Conceitos e Dispositivos**. In: COSTA, R. M. E. M.; RIBEIRO, M. W. S. (org.). Aplicações de Realidade Virtual e Aumentada. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2009.

[11] DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; MIGUEL, P. A. C. A distinctive analysis of case study, action research and Design Science Research. **Review of Business Management**, v. 17, n. 56, p. 1116–1133, 2015.

[12] LEITE, R. M. C.; CORDEIRO, A. M.; ALMEIDA, L. G. G.; CATAPAN, M.; WINKLER, I. Avaliação de realidade virtual para treinamento de profissionais da construção civil que trabalham em altura. In: Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção, 14., 2025, Porto Alegre. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2025.

[13] BÜKRÜ, S.; WOLF, M.; GOLOVINA, O.; TEIZER, J. Using field of view and eye tracking for feedback generation in an augmented virtuality safety training. In: Construction Research Congress 2020. **Proceedings**... Reston: American Society of Civil Engineers, 2020. p. 624-632.

[14] BURKE, B. **Gamificar**: como a gamificação motiva as pessoas a fazerem coisas extraordinárias. Tradução de Sieben Gruppe. São Paulo: DVS Editora, 2014.