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.v21i1.8650

Smart View: Simulador Gamificado de Gestão de Obras

Smart View: Gamified Construction Management Simulator

Fernando Airton da Silva Fares
Universidade Federal do Ceará | Fortaleza | Brasil | fernandofares@alu.ufc.br
José Edmar Sampaio Batista Filho
Universidade Federal do Ceará | Fortaleza | Brasil | jedmarsbfilho@gmail.com
José de Paula Barros Neto
Universidade Federal do Ceará | Fortaleza | Brasil | jpbarros@ufc.br
Luis Felipe Cândido
Universidade Federal do Ceará | Fortaleza | Brasil | candido@crateus.ufc.br

Resumo

Decisões em gestão de obras frequentemente ocorrem sob alta incerteza, o que demanda instrumentos capazes de simular cenários e apoiar o julgamento humano [1]. Nesse contexto, esse trabalho apresenta o Smart View, um sistema computacional do tipo *human-in-the-loop* para apoio à gestão de obras em contextos de incerteza. O sistema integra técnicas estocásticas (Monte Carlo), inteligência artificial (IA) explicável e gamificação a métodos determinísticos (EVM, CPM, Curva S) para superar as limitações das ferramentas atuais. Com base na *Design Science Research*, o Smart View foi implementado em *TypeScript*, com interface desenvolvida em *React* e empacotamento via *Electron*. O teste e avaliação do sistema se deu com um caso de estudo de um projeto de construção. Como benefícios, o sistema permitiu automatizar múltiplos cenários de forma simultânea, quantificar e estimar probabilidade na identificação de riscos, criar um fluxo de tomada de decisão *data-driven* apoiado por assistentes de IA. Também busca o engajamento da equipe por meio de gamificação. A contribuição é dual: teórica, ao propor um framework integrado; e prática, ao disponibilizar um sistema funcional para o setor.

Palavras-chave: Design Science Research, Artefato Computacional, Gestão de Projetos, Simulação Monte Carlo, Inteligência Artificial.

Abstract

Decisions in construction management frequently occur under high uncertainty, which demands tools capable of simulating scenarios and supporting human judgment [1]. Thus, this study presents Smart View, a human-in-the-loop computational system designed to support construction management in uncertain environments. The system integrates stochastic techniques (Monte Carlo simulation), explainable artificial intelligence, and gamification with deterministic methods (EVM, CPM, and S-curve) to overcome the limitations of existing tools. Based on Design Science Research, Smart View was implemented in TypeScript, with a React-based interface and packaged using Electron. The system was tested and evaluated through a construction project case study. The results indicate several benefits: the system enables the simultaneous automation of multiple scenarios, supports probabilistic risk identification and estimation, and fosters a data-driven decision-making process with assistance of explainable AI. It also seeks to enhance team engagement through gamification. The contribution is twofold: theoretical, by proposing an integrated framework; and practical, by providing a functional system with explainable AI and gamification for the construction sector.

Keywords: Design Science Research, Computational Artifact, Project Management, Monte Carlo Simulation, Artificial Intelligence.

INTRODUÇÃO

A gestão de obras na indústria de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) ocorre em um ambiente marcado por elevada variabilidade de prazos, custos, produtividade e disponibilidade de recursos. Embora softwares tradicionais de planejamento e controle como MS Project [2] e Primavera P6 [3] sejam amplamente utilizados, grande parte dessas soluções ainda opera com uma lógica predominantemente determinística, centrada na elaboração de cronogramas, no acompanhamento de custos e na comparação entre planejado e realizado. Essa abordagem é útil para estruturar o projeto, mas se mostra insuficiente quando o gestor precisa analisar incertezas, testar cenários alternativos e tomar decisões sob risco [4].

Além dessa limitação analítica, há um desafio formativo e operacional. Em muitos contextos, o processo de planejamento é tratado como atividade burocrática, pouco interativa e pouco orientada à aprendizagem [5], o que dificulta tanto o treinamento de estudantes e profissionais em contextos acadêmicos e de formação continuada quanto a qualificação da tomada de decisão em ambiente real por parte de gestores de obras. Em consequência, métricas consolidadas como Earned Value Management (EVM), Método do Caminho Crítico (CPM) e Curva S costumam ser usadas de forma retrospectiva: elas mostram o que já aconteceu, mas têm baixa capacidade de antecipar desvios relevantes no projeto [1].

Nesse contexto, ferramentas computacionais que vão além de apenas consolidar dados de planejamento e controle podem melhorar a tomada de decisão sob incerteza. Para isso, elas precisam explorar cenários de risco, apresentar resultados de forma clara e estimular o engajamento do usuário no processo decisório. Uma forma promissora de viabilizar isso é a lógica *human-in-the-loop*, em que o julgamento humano permanece central e a tecnologia atua como suporte à decisão. A integração entre simulação estocástica, Inteligência Artificial (IA) e gamificação surge como um caminho concreto para isso.

Diante desse cenário, este trabalho busca responder à seguinte questão de pesquisa: como desenvolver e avaliar um artefato computacional capaz de apoiar a tomada de decisão na gestão de obras por meio da integração entre planejamento determinístico, simulação de incertezas, assistentes de IA e gamificação?

Portanto, o objetivo geral do estudo é desenvolver e avaliar o Smart View, um sistema computacional funcional do tipo *human-in-the-loop* para apoio à gestão de obras em contextos de incerteza. Como objetivos específicos, pretende-se: (i) especificar requisitos integrando funcionalidades consolidadas (EVM, CPM e Curva S); (ii) projetar e implementar um motor de simulação Monte Carlo para análise probabilística de prazo e custo; (iii) integrar assistentes de IA para interpretação de resultados e auditoria; (iv) incorporar mecanismos de gamificação; e (v) avaliar o artefato em um caso de estudo.

A relevância do estudo reside em sua contribuição dual. No plano teórico, o Smart View articula diferentes correntes de suporte à decisão em um único artefato. No plano prático, oferece-se uma aplicação funcional voltada à análise de cenários, à qualificação do planejamento e ao treinamento de usuários para decisões mais robustas em gestão de obras.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esta seção apresenta os três pilares que fundamentam o desenvolvimento do Smart View: a simulação e a otimização, usadas para superar as limitações das técnicas de gestão determinísticas; a Inteligência Artificial, que atua como interface cognitiva entre os dados do projeto e o gestor; e a gamificação, que busca engajar os envolvidos no projeto em uma tomada de decisão mais proativa e dinâmica. Por fim, apresenta-se uma breve comparação entre as principais ferramentas consolidadas no mercado e a proposta do Smart View.

TÉCNICAS DE GESTÃO, SIMULAÇÃO E OTIMIZAÇÃO

O gerenciamento de projetos apoia-se em técnicas consolidadas para controle de desempenho. O Earned Value Management (EVM) integra escopo, custo e prazo por meio de indicadores como CPI e SPI [6, 7]. A Curva S visualiza o progresso acumulado, enquanto o Critical Path Method (CPM) identifica a sequência crítica de atividades [8]. Contudo, a aplicação dessas técnicas em modelos determinísticos limita sua eficácia em ambientes de alta incerteza. Para tratar essa limitação, a Simulação de Monte Carlo (MCS) substitui valores fixos por distribuições de probabilidade, gerando distribuições probabilísticas de prazos e custos [1], podendo ser combinada com otimização para equilibrar múltiplos objetivos conflitantes [9].

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E SUPORTE À DECISÃO

A Inteligência Artificial (IA) tem transformado os sistemas de suporte à decisão. Na gestão de obras, os *Large Language Models* (LLMs) ampliam esse potencial ao permitir consultas em linguagem natural sobre cronogramas, custos, riscos e registros de campo, sintetizando informações dispersas e realizando recomendações com maior transparência [10, 11, 12]. Assim, podem atuar como interface cognitiva entre os dados do projeto e o gestor, apoiando análises de cenários, auditorias e aprendizado, sem substituir o julgamento humano na decisão final [10, 11].

GAMIFICAÇÃO NA ENGENHARIA

A gamificação, definida por Deterding et al. [13] como o uso de elementos de design de jogos em contextos não-lúdicos, tem demonstrado aumentar motivação e engajamento em tarefas técnicas [14, 15]. Na gestão de obras, pode transformar indicadores de desempenho em mecanismos de *feedback* contínuo (pontuações, níveis, rankings e conquistas), reforçando comportamentos desejáveis, estimulando a atualização tempestiva dos dados e tornando o monitoramento mais transparente e participativo.

ANÁLISE COMPARATIVA DE FERRAMENTAS

Para contextualizar a contribuição do Smart View, analisam-se ferramentas consolidadas. O MS Project [2] e o Primavera P6 [3] oferecem recursos robustos de planejamento e acompanhamento, incluindo práticas de Earned Value Management. No campo da análise quantitativa de riscos, o Oracle Primavera Risk Analysis incorpora simulação de Monte Carlo [16]. Em contraste, o Smart View foi concebido para integrar, em um mesmo ambiente, análise determinística, simulação de cenários, suporte por IA e elementos de gamificação. Embora estudos acadêmicos tenham proposto a aplicação isolada de Monte Carlo [1], LLMs [10, 11] ou gamificação na construção, não foram identificadas propostas que integrem os três pilares em um mesmo artefato sob lógica human-in-the-loop. Em comparação ao estado da arte, trabalhos como Kwak e Ingall [1] enfatizam apenas a dimensão estocástica; Abioye et al. [10] e Ma et al. [11] discutem LLMs sem articulação com simulação probabilística; e estudos de gamificação na construção tratam o engajamento de equipes desacoplado do ciclo decisório quantitativo. O Smart View posiciona-se como instanciação que integra essas três frentes em uma arquitetura única, orientada à decisão e à aprendizagem.

Quadro 1: Comparativo de Funcionalidades: Smart View vs. Ferramentas Consolidadas

Ferramenta	EVM	Monte Carlo	IA	Gamificação
MS Project	✓	✗	✗	✗
Primavera P6	✓	✗	✗	✗
Primavera Risk Analysis	✓	✓	✗	✗
Smart View	✓	✓	✓	✓

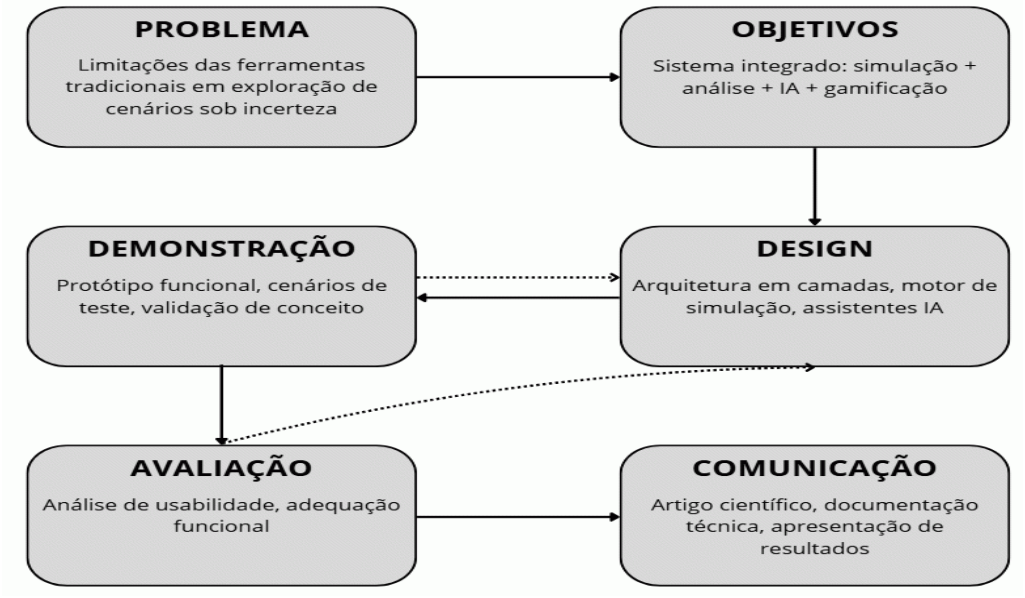
Fonte: os autores.

METODOLOGIA

ABORDAGEM DA PESQUISA

Esta pesquisa fundamenta-se na Design Science Research (DSR), estratégia orientada à criação e avaliação de artefatos computacionais que resolvem problemas do mundo real [17, 18], combinando relevância prática e rigor metodológico. A revisão bibliográfica que fundamenta o artefato foi conduzida de forma narrativa, com seleção orientada à aderência aos três pilares da proposta (simulação estocástica, IA aplicada à AEC e gamificação na engenharia) e seus resultados estruturam a Seção 2. Caracteriza-se como pesquisa aplicada, de natureza tecnológica e abordagem mista, cujo resultado principal é um sistema funcional implementado e operável. O framework metodológico adotado segue as seis atividades de Peffers et al. [19], conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1: Framework DSR Aplicado ao Smart View



Fonte: Adaptado de Peffers et al. [19].

ETAPAS DA PESQUISA-DESENVOLVIMENTO

O processo ocorreu em cinco etapas, totalizando 11 meses, sintetizadas no Quadro 2. O destaque é a Etapa 3 (Desenvolvimento), conduzida em sprints quinzenais com metodologia ágil, empregando Electron, React e TypeScript, com motor de simulação implementado via bibliotecas de otimização matemática e geradores de números pseudoaleatórios certificados.

Quadro 2 – Etapas do Processo de Pesquisa-Desenvolvimento

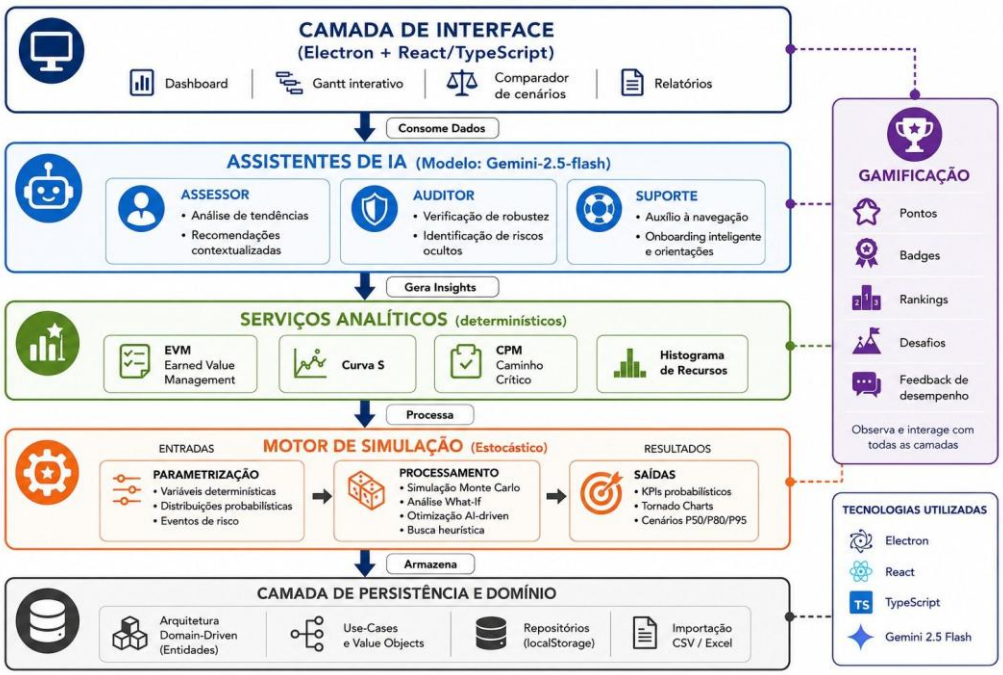
Etapa	Atividades	Duração (meses)
Revisão	Revisão sistemática da literatura; Identificação de gaps	2
Modelagem	Modelo conceitual; Requisitos funcionais e não-funcionais; Arquitetura em camadas	3
Desenvolvimento	Implementação em sprints quinzenais; Motor de simulação; Integração com APIs de IA; Testes unitários	4
Avaliação	Testes de integração; Aplicação em cenários reais; Refinamentos iterativos	1
Documentação	Elaboração de manuais; Criação de tutoriais; Preparação de artigos; Comunicação de resultados	1

Fonte: os autores.

ARQUITETURA EM CAMADAS

A arquitetura do Smart View é organizada em cinco camadas integradas (Figura 2). O Motor de Simulação opera em três fases: parametrização (variáveis determinísticas, distribuições probabilísticas e eventos de risco), processamento (Monte Carlo, análise What-If e otimização AI-driven) e saídas (KPIs probabilísticos e Tornado Charts). Os Assistentes de IA compreendem três agentes: Assessor (análise de tendências e recomendações), Auditor (verificação de robustez e riscos ocultos) e Suporte (auxílio na navegação). A Camada de Gamificação implementa pontos, *badges* e rankings para incentivar a qualidade e frequência da interação com a ferramenta.

Figura 2: Arquitetura em Camadas do Smart View

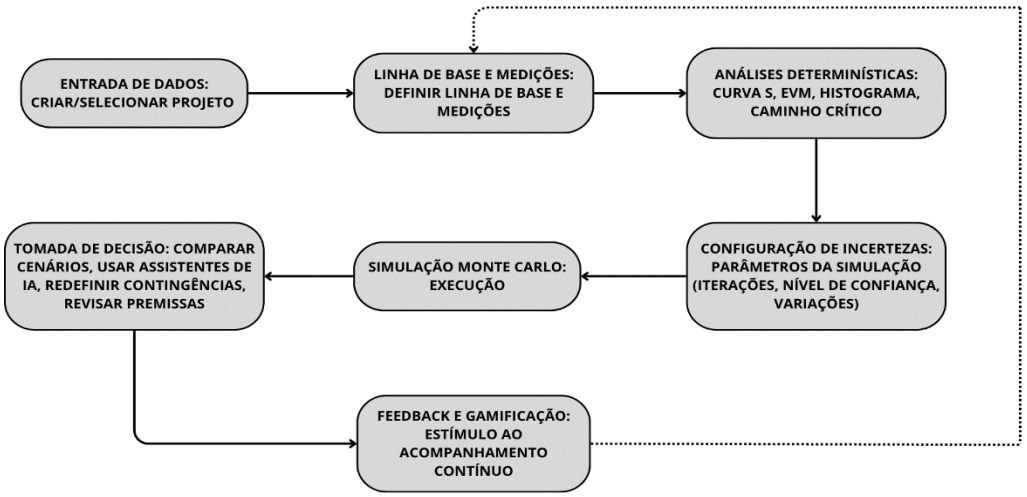


Fonte: os autores.

FLUXO DE TRABALHO

A Figura 3 sumariza o fluxo de trabalho executado no Smart View, que se inicia com a criação do projeto e alimentação da base de dados (manual ou via importação de planilhas), seguida do cadastro de composições, atividades, relações de precedência e dados de planejamento físico-financeiro. Define-se então a linha de base e as medições para acompanhamento da execução, momento em que o sistema disponibiliza análises determinísticas (Curva S, EVM, CPM e histograma de mão de obra). Na etapa seguinte, o usuário parametriza a simulação (iterações, tipo de análise, nível de confiança e faixas de variação), obtendo cenários probabilísticos que subsidiam a tomada de decisão, revisão de contingências, premissas e linha de base, com suporte dos assistentes de IA e feedback de desempenho via gamificação.

Figura 3: Fluxo de Trabalho executado no Smart View



Fonte: os autores.

TECNOLOGIAS E IMPLEMENTAÇÃO

O Smart View foi desenvolvido como aplicação desktop multiplataforma, garantindo desempenho consistente e acesso offline. Os assistentes de IA são integrados, via API, ao modelo de LLM gemini-2.5-flash. O Quadro 3 sintetiza as principais tecnologias adotadas.

Quadro 3: Principais tecnologias aplicadas no Smart View

Tecnologia	Função principal	Vantagens
Electron	Aplicação desktop multiplataforma	Nativo em Windows, macOS e Linux, com funcionamento offline
React + TypeScript	Interface interativa e modular	Interfaces reativas com tipagem estática, reduzindo erros
Tailwind CSS + shadcn/ui + Radix UI	Padronização visual e componentes reutilizáveis	Design consistente, acessível e customizável
Recharts	Geração de gráficos analíticos	Gráficos responsivos e de alto desempenho para dados dinâmicos
React Flow + Dagre	Representação visual da rede de atividades	Diagramas interativos com layout automático

Fonte: os autores.

DEMONSTRAÇÃO DO USO

Utilizou-se como caso de estudo um projeto de construção de residência unifamiliar com duração planejada de 10 meses, orçamento total de R$ 611.948,14 e 53 atividades. Após a importação das composições, EAP e configuração da rede de precedências, foram realizadas cinco simulações com distribuição triangular, 5.000 iterações e nível de confiança de 95%. As faixas de variação de cada cenário basearam-se nos padrões empíricos documentados por Flyvbjerg [4], alta incidência de estouros, assimetria entre cenários otimistas e pessimistas e ocorrência de eventos extremos, conforme o Quadro 4.

Quadro 4: Cenários de Simulação

Cenário	Mínimo	Mais Provável	Máximo	Perfil
Base (Realista)	-20%	0%	+40%	Expectativa típica com viés de otimismo moderado
Otimista	-30%	-10%	+10%	Excelência operacional, alta previsibilidade
Pessimista	-10%	+15%	+70%	Projeto problemático com cauda longa de risco
Muito Pessimista	0%	+30%	+100%	Cenário de ruptura, contingências máximas
Conservador	-15%	+5%	+25%	Equilíbrio entre segurança e viabilidade

Fonte: os autores.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir, apresentam-se os resultados e discussões. Inicialmente, apresentam-se os resultados da simulação de Monte Carlo para o caso de estudo implementado.

RESULTADOS DA SIMULAÇÃO MONTE CARLO

A Tabela 1 apresenta os resultados da Simulação Monte Carlo para o prazo.

Tabela 1: Simulação Monte Carlo: Prazo em dias (5.000 iterações Nível de Confiança 95%)

Métrica	Base	Otimista	Pessimista	Muito Pessimista	Conservador
Desvio Padrão	0,5	0,4	0,7	0,9	0,4
Média Simulada	214	214	215	216	214
P10	214	214	214	215	214
P50	214	214	215	216	214
P80	215	214	216	216	214
P90	215	214	216	217	215
P95	215	214	216	217	215

Fonte: os autores.

Já a Tabela 2 apresenta os resultados da Simulação Monte Carlo para o custo.

Tabela 2: Simulação Monte Carlo: Custo em R$ (5.000 iterações Nível de Confiança 95%)

Métrica	Base	Otimista	Pessimista	Muito Pessimista	Conservador
Desvio Padrão	22.877,11	17.574,63	30.574,08	38.370,41	15.115,13
Média Simulada	653.259,15	591.725,16	765.098,87	877.206,09	642.566,03
P10	624.276,59	568.081,82	726.114,71	829.946,59	623.384,60
P50	652.199,85	592.284,88	764.555,14	875.655,58	642.563,54
P80	672.505,97	607.612,00	790.726,65	910.537,46	655.405,63
P90	683.561,06	614.007,54	805.240,49	927.035,70	661.995,49
P95	692.744,21	619.042,55	805.240,49	941.807,98	667.236,48

Fonte: os autores.

Os resultados revelam comportamentos distintos e alinhados com as premissas de cada cenário. O prazo permanece relativamente estável em todos os cenários (desvio padrão entre 0,4 e 0,9 dias), indicando que o caminho crítico deste projeto é robusto. Em contraste, o custo mostra-se altamente sensível às parametrizações, corroborando os achados de Flyvbjerg [4]. O orçamento original (R$ 611.948,14) situa-se abaixo do P10 em todos os cenários exceto o Otimista, indicando baixa probabilidade de conclusão dentro do valor planejado na maioria das configurações de risco.

ANÁLISE WHAT-IF E ATUAÇÃO DOS ASSISTENTES DE IA

Os assistentes de IA cumprem papel complementar à análise probabilística. O Assessor sintetiza os resultados comparativos, destacando que o cenário Conservador reduz o risco de estouro para +9% (P95), enquanto o cenário Base ainda implica contingência de +13,2% (P95). O Auditor pressiona o plano, questionando a hipótese de que o cenário Base é "realista", dado que o orçado original tem menos de 10% de chance de

ser alcançado, alinhando-se à advertência de Flyvbjerg [4] sobre o "viés de otimismo" como principal causa de estouros. O módulo de Suporte facilita a apropriação das funcionalidades pelo usuário.

Essa combinação é relevante em contextos de treinamento, pois aproxima a leitura dos indicadores de uma prática reflexiva de decisão. Os resultados sugerem que uma postura gerencial prudente adotaria a média do Cenário Conservador (R$ 642.566,03) como nova linha de base orçamentária, definindo contingências com base no P95 do Cenário Base (R$ 692.744,21) ou no P80 do Cenário Pessimista, conforme a aversão ao risco do tomador de decisão [20].

AVALIAÇÃO DO ARTEFATO

O Smart View aproxima a análise probabilística do cotidiano da gestão de obras, reunindo em uma única aplicação recursos de cadastro, planejamento, controle, simulação, interpretação assistida e acompanhamento de desempenho. O sistema possui também potencial formativo, permitindo que estudantes e profissionais explorem cenários e reflitam sobre as consequências de diferentes decisões. Cabe ressaltar que a camada de gamificação configura, neste estágio, uma proposta de design ainda não submetida a avaliação empírica de uso, devendo ser interpretada como contribuição preliminar a ser validada em pesquisas futuras.

Os benefícios práticos são sumarizados no Quadro 5, que constitui evidência inicial de utilidade para avaliação e, portanto, deve ser interpretada com parcimônia: o estudo de caso demonstrou funcionalidade e consistência com os objetivos propostos, mas a generalização depende de aplicações adicionais em outros tipos de empreendimento.

Quadro 5: Benefícios Práticos do Smart View

Aspecto	Abordagem Tradicional	Smart View
Análise de Cenários	Manual e demorada	Automatizada e múltiplos cenários simultâneos
Identificação de Riscos	Qualitativa e subjetiva	Quantitativa e probabilística
Suporte à Decisão	Baseado em experiência	Data-driven + IA explicável
Engajamento da Equipe	Atualização vista como burocracia	Gamificada e motivacional

Fonte: os autores.

LIMITAÇÕES DA PESQUISA E TRABALHOS FUTUROS

A principal limitação refere-se à avaliação naturalística do artefato [21]: embora avaliado em cenários controlados e em um caso de estudo, o Smart View ainda não foi testado extensivamente em ambiente de produção com múltiplos projetos simultâneos e diversos contextos organizacionais. Adicionalmente, os elementos de gamificação foram implementados, mas ainda não foram avaliados empiricamente em ambiente de uso, o que constitui limitação adicional.

Pesquisas futuras devem incluir estudos de caso longitudinais em empresas de construção para avaliar o impacto real do artefato em indicadores de desempenho de projetos. Oportunidades de evolução do artefato incluem a expansão do motor de simulação para incorporar Modelos Baseados em Agentes (ABM); a integração com

ecossistemas BIM (Building Information Modeling) para visualização 4D/5D; o desenvolvimento de versões web e mobile para acesso em campo; a incorporação de algoritmos de Machine Learning para aprendizado com histórico de projetos; e a expansão das mecânicas de gamificação com base em feedback comportamental dos usuários.

CONCLUSÃO

Este artigo apresentou o Smart View, um artefato computacional inovador para a gestão de projetos de construção. Ele combina, em um único sistema, técnicas estocásticas (Monte Carlo), inteligência artificial explicável e gamificação com métodos determinísticos já consolidados (EVM, CPM, Curva S). Essa integração busca superar as limitações das ferramentas atuais, que ainda se baseiam predominantemente em modelos determinísticos. Assim, além da contribuição teórica, o sistema pode contribuir para a melhoria da gestão de obras, uma vez que disponibiliza um sistema funcional que reduz a barreira de entrada para simulação estocástica, permitindo análises de múltiplos cenários e tomada de decisão apoiada por IA em ambiente integrado.

Como contribuição científica, o estudo instancia, em um único artefato, a integração entre simulação estocástica, IA explicável e gamificação sob lógica human-in-the-loop. Como contribuição prática, oferece um sistema funcional que aproxima a análise probabilística do cotidiano da gestão de obras. As limitações incluem a avaliação restrita a um caso de estudo e a ausência de avaliação empírica dos elementos de gamificação. Pesquisas futuras devem expandir a avaliação a múltiplos contextos organizacionais, mensurar o efeito da gamificação no engajamento e integrar o artefato a ecossistemas BIM.

DECLARAÇÃO DE USO DE IA

Durante a preparação deste artigo, o autor Fernando Airton da Silva Fares utilizou a ferramenta ChatGPT da OpenAI para gerar imagens e utilizou Claude para revisão gramatical e estruturação de tópicos. As ferramentas foram utilizadas como apoio ao trabalho, sem substituir a autoria e responsabilidade intelectual do pesquisador. Após o uso das ferramentas, o autor revisou e editou o conteúdo conforme necessário e assume total responsabilidade pelo conteúdo do artigo publicado, considerando originalidade do texto e atribuição correta das fontes referenciadas.

REFERÊNCIAS

[1] KWAK, Y. H.; INGALL, L. Exploring Monte Carlo simulation applications for project management. **Risk Management**, v. 9, n. 1, p. 44-57, 2007.

[2] MICROSOFT. **Microsoft Project: project management software**. 2023. Disponível em: <https://www.microsoft.com/en-us/microsoft-365/project/project-management-software>. Acesso em: 11 fev. 2026.

[3] ORACLE. **Primavera P6 Enterprise Project Portfolio Management**. 2022. Disponível em: <https://www.oracle.com/industries/construction-engineering/primavera-p6>. Acesso em: 11 fev. 2026.

[4] FLYVBJERG, B. What you should know about megaprojects and why: an overview. **Project Management Journal**, v. 45, n. 2, p. 6-19, 2014.

[5] BALLARD, G.; HOWELL, G. Shielding production: essential step in production control. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 124, n. 1, p. 11-17, 1998.

[6] PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. **A guide to the project management body of knowledge** (PMBOK Guide). 6. ed. Newtown Square: Project Management Institute, 2017.

[7] FLEMING, Q. W.; KOPPELMAN, J. M. **Earned value project management**. 4. ed. Newtown Square: Project Management Institute, 2010.

[8] KERZNER, H. **Project management**: a systems approach to planning, scheduling, and controlling. 12. ed. Hoboken: Wiley, 2017.

[9] FENG, C. W.; LIU, L.; BURNS, S. A. Using genetic algorithms to solve construction time-cost trade-off problems. **Journal of Computing in Civil Engineering**, v. 11, n. 3, p. 184-189, 1997.

[10] ABIOYE, S. O. et al. A review of LLMs and their applications in the architecture, engineering and construction industry. **Artificial Intelligence Review**, v. 58, n. 1, 2025.

[11] MA, L. et al. Adopting large language models in the construction industry: drivers, barriers, and strategic implications from China. **Buildings**, v. 15, n. 23, p. 4296, 2025.

[12] ADADI, A.; BERRADA, M. Peeking inside the black-box: a survey on explainable artificial intelligence (XAI). **IEEE Access**, v. 6, p. 52138-52160, 2018.

[13] DETERDING, S. et al. From game design elements to gamefulness: defining gamification. In: INTERNATIONAL ACADEMIC MINDTREK CONFERENCE, 15., 2011, Tampere. **Proceedings [...]**. Tampere: ACM, 2011. p. 9-15.

[14] HAMARI, J.; KOIVISTO, J.; SARSA, H. Does gamification work? A literature review of empirical studies on gamification. In: HAWAII INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEM SCIENCES, 47., 2014, Waikoloa. **Proceedings [...]**. Waikoloa: IEEE, 2014. p. 3025-3034.

[15] SEABORN, K.; FELS, D. I. Gamification in theory and action: a survey. **International Journal of Human-Computer Studies**, v. 74, p. 14-31, 2015.

[16] ORACLE. **Oracle Primavera Risk Analysis**. 2022. Disponível em: <https://www.oracle.com/construction-engineering/primavera-risk-analysis/>. Acesso em: 11 fev. 2026.

[17] HEVNER, A. R. et al. Design science in information systems research. **MIS Quarterly**, v. 28, n. 1, p. 75-105, 2004.

[18] MARCH, S. T.; SMITH, G. F. Design and natural science research on information technology. **Decision Support Systems**, v. 15, n. 4, p. 251-266, 1995.

[19] PEFFERS, K. et al. A design science research methodology for information systems research. **Journal of Management Information Systems**, v. 24, n. 3, p. 45-77, 2007.

[20] TOURAN, A. Probabilistic model for cost contingency. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 129, n. 3, p. 280-284, 2003.

[21] VENABLE, J.; PRIES-HEJE, J.; BASKERVILLE, R. FEDS: a framework for evaluation in design science research. **European Journal of Information Systems**, v. 25, n. 1, p. 77-89, 2016.