POTENCIALIZANDO A ANÁLISE DE PROJETOS COM REALIDADE VIRTUAL: REPLICABILIDADE ALÉM DE UMA ÚNICA PLATAFORMA

Luiz Otávio Martins Souza[1]

Strata Engenharia, Belo Horizonte, luiz.souza@strata.com.br

Resumo
A complexidade crescente em projetos AEC exige métodos de visualização que superem as limitações 2D e 3D convencionais. A Realidade Virtual (VR) surge como promissora para a revisão de projetos BIM, oferecendo imersão em escala real, maior percepção espacial e interação colaborativa [1] [2]. Este artigo propõe uma metodologia para avaliar o uso da VR na análise de projetos complexos, focando na replicabilidade entre plataformas. Um estudo de caso no projeto do Trevo do BH Shopping comparou a detecção de problemas em desktop (Autodesk Navisworks) e VR (Autodesk Workshop XR). Os resultados mostraram que a análise imersiva em VR identificou 20% a 30% mais problemas que a abordagem convencional, destacando o valor da percepção espacial humana. A principal contribuição é a sistematização de um quadro analítico para futuros estudos, enfatizando que os benefícios da VR vêm da imersão, colaboração e integração informacional, e não da ferramenta específica [1] [3] [4] [5].

1. Introdução

O setor AEC enfrenta desafios na coordenação de projetos complexos, especialmente em infraestrutura, onde a revisão por plantas 2D e visualizadores desktop pode ser insuficiente para comunicar relações espaciais complexas. Embora o BIM tenha avançado na gestão da informação, a interpretação espacial de modelos complexos ainda é um obstáculo. A Realidade Virtual (VR) surge como solução, permitindo que todos os envolvidos experimentem o ambiente projetado em escala real, facilitando a identificação antecipada de incompatibilidades e melhorando a comunicação [1] [2]. A literatura destaca benefícios da integração BIM-VR, como melhor percepção espacial, engajamento e redução de retrabalho, com relatos de economias significativas [1] [2] [3]. No entanto, há uma lacuna na avaliação comparativa entre diferentes plataformas de VR para BIM. Este artigo propõe uma metodologia para avaliar o uso da VR na análise de projetos BIM, focando na replicabilidade do método para sustentar estudos comparativos entre diversas soluções existentes no mercado [3] [4] [5].

2. Revisão da literatura

A integração entre BIM e Realidade Virtual (VR) aprimora a compreensão espacial e a coordenação de projetos complexos. Johansson e Roupé [1] afirmam que aplicações imersivas conectadas a fluxos digitais da construção melhoram a comunicação e a identificação de problemas em fases iniciais, o que é crucial para geometrias complexas e interfaces multidisciplinares. Shehadeh et al. [2] complementam que essa integração promove maior participação de stakeholders e consciência espacial, sendo valiosa para a mediação entre informações técnicas e compreensão não especializada, mesmo em contextos de sustentabilidade e resiliência urbana. Relatos de mercado, como o da Resolve para a Fortis Construction [3], indicam que revisões em VR previnem retrabalhos e reduzem custos significativos, evidenciando seu valor operacional. Contudo, a literatura e fornecedores mostram que diversas plataformas de VR para BIM (Autodesk Workshop XR, Resolve, The Wild, Enscape) [3] [4] [5] oferecem funcionalidades distintas. Portanto, é mais eficaz focar nas capacidades necessárias para a revisão imersiva do que associar os benefícios a uma única ferramenta.

3. Delimitação e contribuição do estudo

Este artigo não apresenta um experimento concluído com resultados estatísticos consolidados. Sua contribuição reside na formulação de um protocolo metodológico exploratório capaz de orientar aplicações futuras em contexto real de projeto. Tal reposicionamento é importante para evitar que expectativas prospectivas sejam apresentadas como evidências empíricas já obtidas. Em consequência, o texto passa a assumir explicitamente o caráter de artigo propositivo, orientado à estruturação de um desenho de pesquisa e de implantação organizacional.
A proposta metodológica foi concebida para situações em que uma organização deseje comparar, de forma controlada, a revisão de projeto por métodos convencionais e a revisão assistida por VR. O protocolo pode ser aplicado em projetos de edificações ou infraestrutura, desde que exista modelo BIM navegável, equipe multidisciplinar definida e procedimento de registro de issues associado ao ambiente comum de dados.

4. Proposta metodológica de avaliação

A avaliação proposta parte da comparação entre duas abordagens de revisão: uma abordagem convencional em ambiente desktop e uma abordagem imersiva em VR. O objetivo não é apenas contabilizar problemas identificados, mas compreender diferenças de qualidade analítica, comunicação, tempo de decisão e impacto potencial na prevenção de retrabalho.

4.1 Desenho geral do produto

Para a análise, deve-se selecionar um modelo BIM com complexidade espacial relevante (ex: interseções viárias). O mesmo escopo será submetido a duas metodologias: A (desktop com software BIM) e B (VR com participação síncrona). As equipes de revisão devem ter composição equivalente em função e experiência (projetistas, coordenadores, etc.). É crucial

detalhar o número de participantes, categorias profissionais, experiência com BIM e VR, e tipo de projeto para garantir a interpretação e reprodutibilidade dos resultados.

4.2 Métricas de avaliação

A Tabela 1 apresenta um conjunto de métricas que permite avaliar não apenas quantidade, mas também relevância e operacionalidade dos problemas detectados.

Tabela 1 – Métricas de Avaliação de Desempenho

Categoria	Métrica	Descrição	Unidade de medida	Aplicação prática no piloto
Eficiência	Tempo de detecção de issues	Tempo médio necessário para identificar e registrar cada problema	Minutos/issue	Cronometrar do início da análise até o registro válido no sistema
Eficiência	Número total de issues válidos	Quantidade total de problemas confirmados após consolidação e eliminação de duplicidades	Número	Contabilizar issues aceitos pela coordenação após revisão final
Qualidade técnica	Severidade dos issues	Classificação dos problemas segundo impacto em custo, prazo, segurança ou operação	Baixo/Médio/ Alto/Crítico	Classificar cada issue a partir de critérios previamente definidos
Qualidade técnica	Taxa de falsos positivos	Percentual de registros que não se confirmam como problema real	%	Dividir issues descartados pelo total de issues inicialmente reportados
Colaboração	Qualidade da comunicação	Clareza, objetividade e capacidade de entendimento comum durante a revisão	Escala (1–5)	Aplicar questionário pós-sessão aos participantes
Experiência do usuário	Nível de engajamento	Percepção de envolvimento, atenção e imersão na atividade	Escala (1–5)	Aplicar questionário pós-sessão e consolidar média por grupo
Impacto econômico	Custo evitado estimado	Estimativa de retrabalho evitado pela detecção antecipada dos problemas	Moeda	Associar cada issue validado a uma faixa de custo ou orçamento corretivo estimado

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

A métrica de custo evitado estimado requer tratamento particularmente rigoroso. Para reduzir subjetividades, recomenda-se que cada problema validado seja associado a uma classe de impacto econômico previamente definida pela organização, com base em histórico de obra, orçamento de referência ou consulta a especialistas. Uma alternativa prática consiste em estabelecer faixas de custo corretivo, como intervenção simples, retrabalho moderado e retrabalho crítico, atribuindo valores médios a cada classe. O artigo final deve explicitar qual critério foi adotado.

4.3 Estudo de caso: Trevo do BH Shopping

A aplicação prática da metodologia proposta foi realizada através de um projeto piloto conduzido pela Strata Engenharia, focado na fiscalização e execução das obras de um trevo rodoviário estratégico em Belo Horizonte, Minas Gerais, conhecido como "Trevo do BH Shopping". O empreendimento visa a melhoria do fluxo de veículos em um dos pontos de maior saturação da capital mineira, na interseção da rodovia BR-356 com a MG-030. O escopo da obra compreende o alargamento de viadutos, a adequação de alças de acesso e a implantação de uma terceira faixa de rolamento.

Originalmente desenvolvido em metodologia tradicional (2D), o projeto foi transposto para modelos BIM para fins de validação, fiscalização e prevenção de divergências durante a execução. Dada a relevância estratégica da obra para a infraestrutura urbana local, o caso foi selecionado para testar a eficácia da Realidade Virtual (VR) em comparação aos métodos convencionais de análise em desktop.

4.3.1 Consistência Metodológica

A análise de consistência de modelos BIM compara procedimentos em ambiente desktop e imersão em Realidade Virtual (VR). Inicialmente, o modelo passa por análise automatizada no Autodesk Navisworks para detecção de interferências e verificação de propriedades. Em seguida, é explorado imersivamente no Autodesk Workshop XR, onde coordenadores identificam problemas (ergonomia, visibilidade, montagem) não detectáveis automaticamente. A análise imersiva revelou 20% a 30% mais problemas, destacando a importância da percepção espacial humana. As variáveis do estudo focam em conflitos físicos e checagem de propriedades, com problemas classificados por severidade (Baixo, Médio, Alto, Crítico) para priorização. Um ponto crucial é a identificação de falsos positivos, onde a validação ocorre no ambiente virtual com a percepção do profissional, garantindo maior precisão. Os problemas são reanalisados em um Ambiente Comum de Dados (CDE) para verificar soluções e manter a rastreabilidade das modificações.

Figura 1 - Modelo Ambiente Comum de Dados

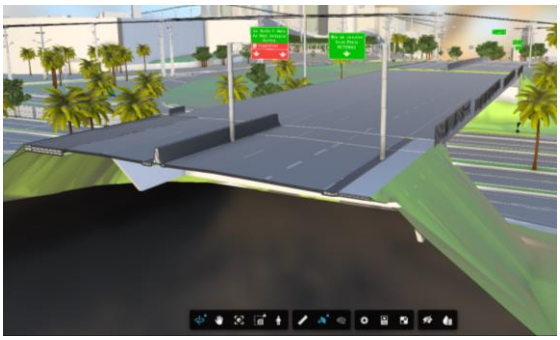

Figura 2 - Seção Modelo Ambiente Comum de Dados

AUTODESK NAVISWORKS **Clash Report**

Sinalização x Pavimentação	Tolerance	Clashes	New	Active	Reviewed	Approved	Resolved	Type	Status
	0.001m	13	13	0	0	0	0	Hard	OK

						Item 1				Item 2				
Image	Clash Name	Status	Distance	Date Found	Clash Point	Item ID	Layer	Item Name	Item Type	Item ID	Layer	Item Name	Item Type	Comments
	Clash1	New	-0.225	2026/4/24 11:39	x:610147.777, y:7791243.597, z:1101.621	*Entity Handle*: 35102D	sinC_VERTICAL_BIM	COL_2	3D Solid	*Entity Handle*: D23	PasseioConcreto	PasseioConcreto	3D Solid	
	Clash2	New	-0.119	2026/4/24 11:39	x:610126.066, y:7791245.762, z:1100.082	*Entity Handle*: 37AD72	sinC_VERTICAL_BIM	HBP_5.5	3D Solid	*Entity Handle*: D23	PasseioConcreto	PasseioConcreto	3D Solid	
	Clash3	New	-0.102	2026/4/24 11:39	x:610277.478, y:7791244.380, z:1108.825	*Entity Handle*: 37CA47	sinC_VERTICAL_BIM	Semi Pórtico Simples_5.5_SVS$3D	3D Solid	*Entity Handle*: 4CA	PasseioConcreto	PasseioConcreto	3D Solid	

Figura 3 - Issue modelo desktop

Figura 4 - Visão VR modelo Imersivo

Figura 5 - Informações ambiente VR

Figura 6 - Óculos Meta Quest 3

Tabela 2: Resultados Obtidos

Valor	Tempo de detecção issues (min)	Total de issues válidas (un.)	Severidade dos issues (un.)	Taxa de falsos positivos (%)	Qualidade da comunicação (%)	Nível de engajamento (%)	Custo evitado estimado (%)
0 a 100	5	15	3	5	100	90	30

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

4.3.2 Participantes e Configuração do estudo

O estudo contou com a participação de uma equipe multidisciplinar, composta por profissionais e estagiários da Strata Engenharia, com perfis técnicos específicos para a análise do projeto. A equipe foi distribuída da seguinte forma:

- 1 BIM Manager/Coordenador
- 1 Engenheiro de Geometria/Terraplenagem
- 1 Estagiário de Geometria/Terraplenagem
- 1 Engenheiro de Sinalização
- 1 Engenheiro de Geoprocessamento
- 1 Estagiário de Geoprocessamento

As sessões de revisão tiveram uma duração total de 30 dias. A primeira semana foi dedicada à análise dos projetos fornecidos, seguida pela modelagem e federação dos elementos, e uma avaliação inicial das incompatibilidades em ambiente desktop. As semanas subsequentes foram focadas no uso da Realidade Virtual para a identificação de itens não rastreados automaticamente, checagem de falsos positivos e a criação de um relatório de diagnóstico da fiscalização virtual.

Em relação à forma de cálculo do custo evitado estimado, não foi possível realizar uma estimativa precisa neste estudo de caso. A maioria dos itens identificados referia-se a remanejamentos que, em um cenário tradicional, seriam provavelmente executados durante a fase de obra, sem um registro formal de custo evitado na etapa de projeto. Contudo, a detecção precoce desses itens, mesmo sem quantificação monetária direta, contribui para a otimização do planejamento e a redução de retrabalhos em campo.

4.4 Instrumentos complementares

Além das métricas quantitativas, recomenda-se a realização de entrevistas semiestruturadas ou questionários abertos ao final das sessões. Esses instrumentos podem captar aspectos que nem sempre se manifestam em indicadores numéricos, como facilidade de navegação, clareza da interface, fadiga do usuário, confiança na decisão tomada e adequação da plataforma à rotina da equipe.

A validação preliminar das métricas também pode ser feita por meio de um estudo piloto reduzido, com um subconjunto do modelo e uma equipe menor. Esse piloto serve para ajustar critérios de severidade, tempo de observação, escalas de questionário e procedimento de registro de issues antes da aplicação principal.

5. Aplicação prática: Estrutura mínima a ser reportada

Considerando a aplicação prática da metodologia apresentada, que incluiu o estudo de caso do Trevo do BH Shopping, torna-se essencial descrever de forma objetiva o contexto dessa aplicação. A Tabela 2 sintetiza os elementos mínimos que devem constar na versão final para reportar o caso prático realizado.

Tabela 3 – Elementos Mínimos

Elemento a reportar	Informação mínima necessária	Exemplo de redação a ser adaptado pelo autor
Tipo de projeto	Natureza do empreendimento, fase e nível de desenvolvimento do modelo	"O estudo foi realizado em um projeto de interseção viária urbana em fase de compatibilização executiva."
Modelo analisado	Disciplinas incluídas, volume aproximado e origem do modelo	"O modelo integrou geometria viária, drenagem, estruturas e elementos de sinalização."
Participantes	Quantidade, perfis profissionais e experiência prévia	"Participaram 8 profissionais: 3 projetistas, 2 coordenadores BIM, 2 engenheiros de obra e 1 representante do cliente."
Configuração da sessão	Duração, ambiente, hardware e software	"Cada sessão teve 90 minutos, com uso de headset Meta Quest e plataforma de VR integrada ao CDE."
Registro de issues	Forma de documentação e validação	"Os issues foram consolidados em ambiente comum de dados e validados por coordenação interdisciplinar."
Resultados	Métricas comparativas entre desktop e VR	"A revisão em VR identificou maior número de issues críticos e reduziu o tempo médio por issue."
Evidências visuais	Figuras do modelo, capturas do ambiente imersivo e exemplos de issues	"A Figura X apresenta a sessão imersiva e a Figura Y ilustra issue detectado em escala real."

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

6. Plataformas e replicabilidade dos resultados

A replicabilidade dos benefícios da VR depende menos do nome comercial da ferramenta e mais da presença de capacidades fundamentais, como navegação imersiva em escala real, colaboração síncrona, acesso a modelos atualizados e registro estruturado de issues. Nesse sentido, diferentes plataformas podem sustentar resultados semelhantes, desde que ofereçam tais capacidades em nível compatível com o objetivo da revisão.

A Tabela 3 apresenta um comparativo sintético entre plataformas frequentemente mencionadas em fluxos BIM/VDC. O quadro não constitui benchmark técnico exaustivo, mas organiza atributos relevantes para seleção e replicabilidade metodológica.

Tabela 4 – Comparativo plataformas

Plataforma	**Foco principal**	**Integrações declaradas**	**Colaboração em tempo real**	**Observações sobre licenciamento e posicionamento**
Autodesk Workshop XR	Revisão imersiva de projeto em XR/VR	Ecossistema Autodesk, com destaque para Autodesk Forma e fluxos Autodesk	Sim	Posicionada oficialmente para design reviews; página pública indica preço inicial a partir de US$ 95 [5]
Resolve	Revisão colaborativa de modelos grandes e gestão de ativos/projetos	Integração com Autodesk Construction Cloud	Sim	Licenciamento informado por usuário ou por tamanho do projeto; comunicação destaca processamento de modelos extensos em dispositivos VR [3]
The Wild	Colaboração imersiva, apresentação e ideação	Revit, SketchUp e fluxos de colaboração para equipes de building industry	Sim	Forte ênfase em revisão remota, comunicação espacial e tomada de decisão colaborativa [4]
Enscape	Visualização em tempo real, apresentação e apoio à comunicação de projeto	Integração com ferramentas de autoria de projeto; destaque comercial para fluxo em tempo real	Parcial/variável conforme fluxo adotado	Disponibiliza planos mensais, anuais e trienais, com licenças named e floating; maior vocação para visualização e apresentação [6]

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Esse comparativo mostra que a seleção de plataforma deve considerar, pelo menos, quatro dimensões. A primeira é o ecossistema digital já adotado pela organização, pois integrações nativas tendem a reduzir fricções operacionais. A segunda é a natureza da revisão, uma vez que há plataformas mais orientadas à coordenação colaborativa e outras mais voltadas à comunicação visual e apresentação. A terceira é a escala e complexidade do modelo, especialmente quando se trata de infraestrutura ou projetos com geometria intensiva. A quarta é o modelo de licenciamento, aspecto importante para viabilidade de pilotos e escalonamento institucional.

7. Fatores organizacionais de adoção

A adoção de VR em fluxos de revisão de projetos não depende apenas da disponibilidade tecnológica. Para que a prática produza benefícios consistentes, é necessário considerar fatores organizacionais relacionados à maturidade BIM da empresa, à capacitação dos usuários, à governança de dados e à institucionalização do processo de registro e tratamento de issues.
Em primeiro lugar, a curva de aprendizagem deve ser reconhecida como componente do processo de implantação. Usuários sem familiaridade com ambientes imersivos podem demandar sessões introdutórias antes de participar de uma avaliação comparativa. Em segundo lugar, a organização precisa definir claramente quando a revisão em VR será acionada, quem participa, como os problemas são validados e para onde os registros são encaminhados após a sessão.
Adicionalmente, a qualidade do modelo BIM condiciona diretamente a utilidade da experiência imersiva. Modelos incompletos, desatualizados ou mal estruturados reduzem a confiança na revisão e podem comprometer tanto a eficácia analítica quanto a aceitação da tecnologia. Assim, a VR deve ser compreendida como camada de apoio à decisão dentro de um ecossistema digital mais amplo, e não como solução autônoma desconectada da qualidade da informação do projeto.

8. Discussão

A proposta metodológica apresentada permite enquadrar de modo mais rigoroso o debate sobre VR na revisão de projetos. Em vez de assumir ganhos genéricos, o protocolo orienta a transformação de percepções de valor em critérios observáveis, mensuráveis e comparáveis. Isso é especialmente importante em artigos técnicos submetidos a eventos científicos, nos quais a clareza metodológica é condição para a credibilidade dos argumentos.
Também se verifica que a discussão sobre replicabilidade precisa distinguir dois níveis analíticos. O primeiro nível diz respeito à replicabilidade tecnológica, isto é, à possibilidade de diferentes plataformas oferecerem capacidades análogas de imersão, navegação e colaboração. O segundo nível refere-se à replicabilidade metodológica, que depende da consistência com que o estudo define participantes, variáveis, critérios de validação e forma de documentação dos resultados. Um artigo que deseja sustentar a generalização de benefícios precisa tratar os dois níveis de forma explícita.
Por fim, permanece evidente que, para atender plenamente exigências de robustez empírica, a aplicação do protocolo em estudo real é etapa desejável. Quando tais dados ainda não estiverem disponíveis, o artigo deve assumir sem ambiguidade seu caráter exploratório e propositivo. Essa opção é metodologicamente mais consistente do que apresentar resultados esperados como se fossem resultados obtidos.

9. Conclusão

A Realidade Virtual (VR) oferece um potencial significativo para a análise de projetos no setor AEC, especialmente onde a compreensão espacial, coordenação interdisciplinar e comunicação são cruciais. A literatura e o mercado indicam que a imersão em escala real pode antecipar

problemas, aumentar o engajamento e otimizar decisões [1] [2] [3]. Para validar esses benefícios cientificamente, é essencial avaliar, comparar e documentar rigorosamente. Este artigo propõe um protocolo metodológico exploratório para comparar revisões tradicionais e assistidas por VR, estabelecendo critérios de replicabilidade entre plataformas. Conclui-se que o valor da VR na revisão de projetos reside na combinação de imersão, colaboração e integração informacional, e não em uma ferramenta específica. A consolidação deste argumento requer estudos de caso detalhados para fortalecer a maturidade científica e aplicada do tema.

Referências

[1] JOHANSSON, M.; ROUPÉ, M. Real-world applications of BIM and immersive VR in construction. Automation in Construction, v. 158, p. 105233, 2024.
[2] SHEHADEH, A. et al. Advanced integration of BIM and VR in the built environment: Enhancing sustainability and resilience in urban development. Heliyon, v. 11, n. 4, p. e42558, 2025.
[3] SAY, A. How Fortis Construction saved $3 million in 3 months with VR BIM reviews. Resolve Blog, 9 jan. 2024. Disponível em: https://blog.resolvebim.com/how-fortis-construction-saved-3-million-in-3-months-with-vr-bim-reviews/. Acesso em: 10 dez. 2025.
[4] THE WILD. The Wild – VR Collaboration for Architecture & Design Teams. Disponível em: https://thewild.com/. Acesso em: 15 abr. 2026.
[5] AUTODESK. Autodesk Workshop XR | AEC Design Reviews in VR. Disponível em: https://www.autodesk.com/products/workshop-xr/overview. Acesso em: 15 abr. 2026.
[6] CHAOS. Chaos Enscape pricing & plans — buy online. Disponível em: https://www.chaos.com/enscape/buy-online. Acesso em: 15 abr. 2026.