



ENTAC 2024

XX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Maceió, Brasil, 9 a 11 de outubro de 2024



Realidade Virtual e Aumentada em Análises de Pós-Ocupação: uma revisão de literatura

Virtual and Augmented reality in Post-Occupancy Analysis: a literature review

ALVES, Henrique Vitorino Souza

Universidade Federal de Uberlândia | Uberlândia | Brasil | henrique.vitorino@ufu.br

VILLA, Simone Barbosa

Universidade Federal de Uberlândia | Uberlândia | Brasil | simonevilla@ufu.br

RIBEIRO, Leandra Nunes Cardoso

Universidade Federal de Uberlândia | Uberlândia | Brasil | Leandra.ribeiro@ufu.br

XAVIER, Luis Henrique Borges de Melo

Universidade Federal de Uberlândia | Uberlândia | Brasil | luisbmelo@ufu.br

Este artigo faz parte da pesquisa “Desenvolvimento de interface de realidade virtual e aumentada para avaliação pós-ocupação da qualidade ambiental em edifícios de apartamentos” e objetiva definir o estado da arte dos estudos da relação entre Avaliação Pós-Ocupação, Realidade Virtual e Realidade Aumentada. Diante disso, busca-se identificar possíveis meios de aplicação de tecnologias virtuais em questionários de satisfação e comportamento de moradores, bem como identificar lacunas de trabalhos científicos nessa área. Para realização do levantamento bibliográfico, utilizou-se a metodologia de pesquisa exploratória em bases de dados confiáveis, seguida da seleção de artigos de maior pertinência, os quais foram estudados de forma aprofundada. Os resultados revelam uma quantidade baixa de estudos relacionando esses temas, o que fundamenta a investigação da aplicação das tecnologias de Realidade Virtual (RV) e de Realidade Aumentada (RA) em Avaliação de Pós-Ocupação (APO) e avaliações de Qualidade Ambiental. Ao fim do artigo, indica-se benefícios do uso dessas tecnologias na área de Arquitetura, Engenharia e Construção, além de direcionamentos para futuras pesquisas e delineamentos iniciais dos artefatos a serem desenvolvidos pela pesquisa.

Palavras-chave: Realidade Virtual, Realidade Aumentada, Avaliação Pós Ocupação, Qualidade Ambiental, Gamificação, Revisão Bibliográfica.



Como citar:

ALVES, H. V. S. et al., **Realidade Virtual e Aumentada em Análises de Pós-Ocupação: uma revisão da literatura**. ENTAC2024. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais...** Maceió: ANTAC, 2024.

Abstract

This article is part of the research “Desenvolvimento de interface de realidade virtual e aumentada para avaliação pós-ocupação da qualidade ambiental em edifícios de apartamentos” and seeks to study the relation between Post-occupancy Evaluation, Virtual Reality and Augmented Reality and define its state of art. Also, this investigation explores ways of applying virtual technologies in resident satisfaction and behavior questionnaires, as well as identifying lack of scientific works in this area. To generate the bibliographical survey, the chosen methodology is exploratory research using reliable databases, followed by a selection of the most relevant articles and in-depth study of them. The results reveal a minimal amount of studies correlating those themes, which justifies the investigation of the application of the VR and AR technologies in Post-Occupancy Evaluation and Environmental Quality. Closing the paper, are presented guidelines for future research and initial outlines of the artifacts to be developed by the research.

Keywords: *Virtual Reality, Augmented Reality, Post-Occupancy Evaluation, Environmental Quality, Gamification, Literature Review.*

INTRODUÇÃO

A partir da virada do século XXI, houve, no Brasil, uma retomada dos investimentos públicos na construção civil voltados para a oferta de habitação para todos os estratos econômicos da população. Desde então, a aquisição da casa própria, anseio histórico das famílias brasileiras, tem sido uma realidade para um número cada vez maior de pessoas [1]. Diante disto, é fundamental que as unidades habitacionais produzidas possuam níveis adequados de desempenho ambiental, adequação funcional e coerência cultural. Nesse sentido, destaca-se a relevância de pesquisas que lancem mão da aplicação de métodos e técnicas de avaliação de satisfação e qualidade das edificações (Avaliações Pós-Ocupação) para caracterizar a realidade habitacional brasileira e auxiliar pesquisadores, projetistas e empreendedores na concepção de novos empreendimentos ou mesmo na reforma e adequação de existentes [1][2][3]. Ademais, pesquisas desta natureza são necessárias uma vez que contribuem fortemente para o aumento da sustentabilidade e da resiliência de edificações e, conseqüentemente, das cidades. Essas contribuições são relevantes visto que são objetivos da Nova Agenda Urbana - Habitat III ou dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - AGENDA 2030, documentos dos quais o Brasil é signatário.

Paralelo a isso, observa-se que a popularização do acesso à internet e aos dispositivos eletrônicos, como computadores, tablets e telefones celulares, ou ainda com os desenvolvimentos mais recentes da internet das coisas (IoT) e da inteligência artificial (IA), todas as áreas do conhecimento humano têm sido impactadas. Não só as formas de produção e acesso ao conhecimento, mas também as diferentes atividades humanas, desde as relações interpessoais até as laborais (inclusive na construção civil) têm passado por grandes transformações com a popularização das ferramentas digitais. Em especial, destacam-se as tecnologias da Realidade Virtual (RV), surgida na década de 1960, e Realidade Aumentada (RA), criada nos anos de 1980 [4][5]. Ambas apresentam potencial de aplicação nas áreas da arquitetura e da construção, sendo já utilizadas nas etapas de projeto e construção. Por outro lado, seu emprego em

Avaliações de Pós-Ocupação (APO) tem sido menor, posto que a maioria das aplicações de RV e RA existentes voltam-se para as fases de projeto e execução.

O presente artigo, portanto, insere-se nesse contexto, apresentando os primeiros resultados da pesquisa em andamento, iniciada em setembro de 2023, denominada “Desenvolvimento de interface de realidade virtual e aumentada para avaliação pós-ocupação da qualidade ambiental em edifícios de apartamentos”. Essa investigação objetiva produzir dois artefatos de coleta de dados para APO no âmbito de uma outra pesquisa: “[Sistema APO Digital] Interfaces Digitais de Avaliação Pós-Ocupação da Qualidade Ambiental no Habitar” – maiores detalhes em [6][7]. Iniciada em 2022, esta objetiva desenvolver interfaces digitais de APO para aplicação em edificações habitacionais verticais na cidade de Uberlândia/MG, no âmbito do grupo de pesquisa “MORA: Pesquisa em Habitação”.

Assim, a pesquisa cujos resultados preliminares são apresentados neste artigo, objetiva analisar a contribuição da aplicação de tecnologias digitais de RV e RA em processos de APO, por meio do desenvolvimento de dois artefatos voltados para aprimorar o método de levantamento de dados junto aos moradores das habitações alvo de ações de APO. Baseada na metodologia *Design Science Research* [8] em função de seu caráter eminentemente abduutivo, a pesquisa desenvolverá dois artefatos, um baseado em RV e outro em RA, que funcionarão como alternativas ao questionário web em desenvolvimento na pesquisa “Sistema APO-Digital”.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A Avaliação Pós-Ocupação (APO) consiste em um conjunto de métodos e técnicas que buscam entender a relação entre o comportamento humano e o ambiente construído. Além disso, objetiva analisar outras dimensões dessa relação como as soluções projetuais e sua execução, as condições de ocupação e manutenção e a qualidade ambiental interna dos edifícios. A fim de coletar essas informações, uma ação de APO engloba a coleta de dados diretamente das edificações e de seus usuários, lançando mão de aferições técnicas, questionários com os moradores e visitas *in loco* realizadas pelos pesquisadores [1][9]. A partir do conhecimento adquirido em um processo de APO, é possível melhorar consideravelmente os níveis de desempenho das edificações bem como o grau de funcionalidade e de satisfação dos usuários, seja via proposição de ajustes e reformas na edificação existente ou sob a forma da criação de manuais ou orientações para novos projetos semelhantes [10][11][12][40].

Sobre as tecnologias digitais empregadas, a Realidade Virtual (RV) é uma tecnologia que permite aos usuários experimentarem ambientes virtuais de forma imersiva, como se estivessem realmente presentes nesses ambientes. A RV é criada usando hardware e software específicos que produzem um ambiente 3D que pode ser explorado pelo homem. Por seu potencial intrínseco, ambientes virtuais tridimensionais têm sido aplicados em diversas áreas, como no entretenimento (VFX, jogos eletrônicos), na educação, no treinamento (simuladores de avião, por exemplo), na arquitetura (concepção e visualização de projetos), na engenharia e em diversas outras aplicações. A imersão é um dos aspectos mais importantes da Realidade Virtual,

a qual pode ser definida como um envolvimento dos sentidos do usuário de maneira profunda e convincente ao ponto de ele desligar-se, inconscientemente, do mundo físico ao seu redor [13].

Por fim, a Realidade Aumentada (RA) é uma tecnologia que sobrepõe objetos virtuais ao mundo real, sem substituí-lo completamente, de modo que o usuário tem a impressão de que o virtual e o real coexistem simultaneamente no mesmo espaço. Além disso, essa ferramenta permite a interação do usuário com os elementos sobrepostos, o que aumenta a sensação de imersão [14][15][16][17]. Uma definição importante é a classificação dos níveis de RA possíveis: nível 0, o mais elementar, é alcançado quando a relação entre o mundo físico e o virtual se dá por meio de um marcador existente no ambiente real (um QRCode, por exemplo) que dá acesso a um ambiente virtual (geralmente um site na internet); o nível 1, embora mantenha o emprego de marcadores físicos (como um QRcode), já realiza a sobreposição de um objeto virtual sobre o ambiente real, utilizando geralmente a câmera de smartphones ou tablets; já no nível 2, ocorre a visualização de objetos virtuais sem a necessidade de marcadores físicos, utilizando sistemas de geolocalização; e, finalmente, no nível 3 utilizam-se tecnologias que aumentam a visão humana, como o emprego de óculos de realidade virtual [18].

METODOLOGIA

A metodologia da pesquisa cujos resultados preliminares encontram-se neste artigo, segue uma orientação abdução em seu movimento investigativo, conforme proposto pela metodologia do *Design Science Research*. O projeto foi organizado nas seguintes fases: (i) revisão de literatura e sistematização dos achados; (ii) pesquisa documental e exploratória a fim de selecionar as ferramentas de realidade virtual e aumentada mais adequadas para a confecção dos artefatos; (iii) desenvolvimento dos artefatos; (iv) consolidação dos artefatos; e, finalmente, (v) a aplicação dos artefatos no âmbito da pesquisa maior [SISTEMA APO DIGITAL] Interfaces Digitais de Avaliação Pós-Ocupação da Qualidade Ambiental no Habitar. Em específico, o presente artigo apresenta os resultados das etapas (i) e (ii).

A realização destas fases ocorreu do seguinte modo: em primeiro lugar, realizou-se pesquisa de caráter exploratório em plataformas de trabalhos científicos a fim de levantar o estado da arte atual. As plataformas selecionadas foram *Scopus*, *Science Direct* e *Web of Science*, em função de reunirem ampla quantidade de publicações de revistas científicas de alta qualidade, assim como outros tipos de publicações, além de concentrarem grande parte das publicações relativas à APO.

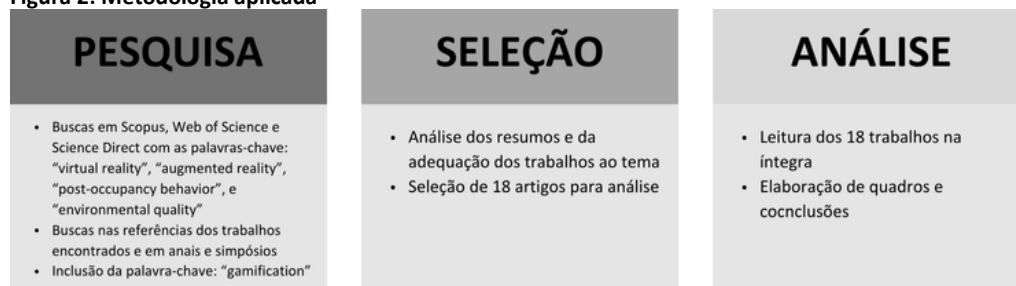
Inicialmente, foram empregadas as palavras-chave (em inglês e português): “virtual reality”, “augmented reality”, “post-occupancy behavior”, e “environmental quality” (“realidade virtual”, “realidade aumentada”, “avaliação pós-ocupação” e “qualidade ambiental”), com as ‘strings’: “augmented reality” AND (“post-occupancy evaluation” OR “environmental quality”) e “virtual reality” AND (“post-occupancy evaluation” OR “environmental quality”). Além das buscas nas bases de dados citadas, expandiu-se a

busca analisando as referências dos artigos encontrados e por meio de pesquisas em anais de congressos e simpósios.

A palavra-chave “gamification” e a ‘string’ “gamification” AND (“post-occupancy evaluation” OR “environmental quality”) foram inseridas nas buscas por um movimento de retroalimentação na pesquisa, após a percepção da ausência, nas buscas, de trabalhos que empregam diretamente RV em ações de APO. Essa constatação decorre do fato de que, uma vez que o papel predominante da RV em arquitetura e construção é simular edificações que ainda não existem, não tem havido interesse de aplicar RV em APO, pois análises de APO são realizadas em edificações construídas. Diante disso, a pesquisa optou por formatar seu artefato de RV como sendo um questionário sob a forma de um jogo eletrônico de ambiente tridimensional, como é descrito ao final do artigo.

Por fim, foram feitas análises dos resumos dos trabalhos selecionados a fim de encontrar aqueles que fossem mais pertinentes à pesquisa. A pertinência foi analisada em função da presença do tema investigado ou das técnicas empregadas, de modo que possam contribuir para o delineamento de futuros artefatos de RV e RA em APO. Após a aplicação de todos esses filtros, elegeu-se 18 artigos para análise aprofundada e sistematização. Esses passos estão sintetizados na figura 2 a seguir:

Figura 2: Metodologia aplicada



Fonte: os autores.

RESULTADOS

A seguir estão organizados os artigos selecionados segundo a ocorrência das palavras-chave selecionadas (Tabela 1). De modo geral, nota-se, uma escassez de publicações relacionando as expressões Realidade Aumentada, Realidade Virtual, Avaliação Pós-Ocupação e Qualidade Ambiental, em especial sobre RV, APO e qualidade ambiental. Isso explicita como tais tecnologias vêm sendo aplicadas predominantemente nos processos de pré-ocupação a fim de auxiliar projetistas, construtores e usuários a visualizar a espacialidade e outros aspectos que influenciam na tomada de decisões de projeto e construção. Por exemplo, quando utilizam combinações de palavras-chave como “Augmented Reality” e “Architecture design” (não inseridas nas tabelas do artigo), os mecanismos de busca utilizados retornam 832 resultados, ou com “Virtual Reality” e “Architecture design” (também não inseridas nas tabelas) tem-se 1558 resultados. Essa discrepância, como já insinuada na introdução e aqui demonstrada,

deriva da própria natureza da APO, pois ela se concentra na análise de edificações já construídas e utilizadas por seus usuários.

Quadro 1: Artigos selecionados por temas principais

Artigos Selecionados	RV	RA	APO	QA
[19] A realidade virtual e aumentada como ferramenta auxiliar no ensino de projeto arquitetônico	■	■		
[20] Adaptação de questionários de avaliação pós-ocupação para avaliação de ambientes virtuais			■	
[21] An immersive multisensory virtual reality approach to the study of human-built environment interactions	■	■		
[22] Augmented Reality Applied to Building Assessment with Building Information Model Visualization		■	■	
[23] Augmented Reality for Experience-centered Spatial Design				■
[24] A Virtual Reality Supported Approach to Occupancy Engagement in Building Energy Design for Closing the Energy Performance Gap	■			■
[25] Extended Realities and New Digital Approaches in Architecture Education: Model for Integration in the Design Process	■	■		
[26] Extended reality in AEC	■	■		
[27] Game-like interactive environment using BIM-based virtual reality for the timber frame self-build housing sector	■	■		
[28] Gamifying “Whole-Person Education”: the development of a mobile application with augmented reality	■	■		
[29] Immersive virtual environments for occupant comfort and adaptive behavior research – A comprehensive review of tools and applications	■	■		■
[30] Impact of extended reality on architectural education and the design process		■		
[31] Possibilidades de uso de realidade aumentada em AEC			■	
[32] Pre-Occupancy Evaluation Tools (P-OET) for early feasibility design stages using virtual and augmented reality technology	■	■		
[33] Proposta de questionário padronizado para avaliação de Experiência de Usuário em Realidade Virtual imersiva	■			
[34] Realidade Virtual como ferramenta de avaliação de projeto de Arquitetura: uma experiência museológica	■		■	
[35] Sensor Fusion Based Pipeline Inspection for the Augmented Reality System		■	■	
[36] The Building That Teaches: Exploring Augmented Reality Affordances in Academic Incubators		■	■	
[37] The Impact of an Augmented Reality Application on Learning Motivation of Students		■		
[38] User-centered interior finishing material selection: An immersive virtual reality-based interactive approach	■			■
[39] Validação de aplicativo comercial visando a incorporação da realidade aumentada a um modelo de avaliação pós-ocupação		■	■	

Fonte: os autores.

No contexto de APO, é importante ressaltar que o processo de APO envolve etapas de coleta e análise de dados bem como de apresentação de resultados e recomendações mediante a elas [1][9][40]. Tendo isso em vista, buscou-se nos trabalhos métodos que aumentassem o engajamento dos usuários a fim de tornar a fase de coleta de dados mais eficiente e dinâmica. Além disso, o fator de ensino de projeto arquitetônico também foi analisado para que se identifique formas de melhorar a disseminação dos conhecimentos adquiridos com os estudos de pós-ocupação, a fim de que eles gerem resultados práticos como reformas e soluções arquitetônicas adequadas e mudança de comportamento de moradores.

Quando se analisa separadamente, o emprego das tecnologias de RV e RA, percebe-se com mais clareza a escassez da utilização de tais ferramentas em APO, assim como seus usos mais recorrentes. Na Tabela 2, percebe-se que, entre as publicações selecionadas, a tecnologia de RV é mais empregada, por ordem de frequência, nas atividades de projeto e ensino de arquitetura (80% das ocorrências), seguida por avaliação de pré-ocupação (40%) e, com APO, apenas em 20% das publicações selecionadas.

Quadro 2: Temas recorrentes entre os estudos de RV

Artigos Selecionados	Avaliação Pré- Ocupação	APO	Projeto arquitetônico	Ensino
A realidade virtual e aumentada como ferramenta auxiliar no ensino de projeto arquitetônico				
Adaptação de questionários de avaliação pós-ocupação para avaliação de ambientes virtuais				
An immersive multisensory virtual reality approach to the study of human-built environment interactions				
A Virtual Reality Supported Approach to Occupancy Engagement in Building Energy Design for Closing the Energy Performance Gap				
Extended reality in AEC				
Game-like interactive environment using BIM-based virtual reality for the timber frame self-build housing sector				
Impact of extended reality on architectural education and the design process				
Pre-Occupancy Evaluation Tools (P-OET) for early feasibility design stages using virtual and augmented reality technology				
Realidade Virtual como ferramenta de avaliação de projeto de Arquitetura: uma experiência museológica				
User-centered interior finishing material selection: An immersive virtual reality-based interactive approach				

Fonte: os autores.

Do mesmo modo, quando se observa como a tecnologia de RA é utilizada nas publicações selecionadas, um padrão ligeiramente diferente é encontrado (Tabela 3, a seguir). Do mesmo modo que com RV, a aplicação de RA no ensino lidera a quantidade de trabalhos, com 64% dos trabalhos. Em segundo lugar, aparecem aplicações que buscam medir como o emprego de RA aumenta o engajamento das pessoas em atividades de ensino e semelhantes, com 57% de ocorrência. Finalmente, a APO aparece com maior destaque, em relação à RV, com 43%, seguida por aplicações de RA no processo de projeto, com apenas 21% de ocorrências.

Quadro 3: Temas recorrentes entre os estudos de RA

Artigos Selecionados	APO	Projeto arquitetônico	Ensino	Engajamento
A realidade virtual e aumentada como ferramenta auxiliar no ensino de projeto arquitetônico			■	■
Augmented Reality Applied to Building Assessment with Building Information Model Visualization	■			
Augmented Reality for Experience-centered Spatial Design				■
Extended Realities and New Digital Approaches in Architecture Education: Model for Integration in the Design Process			■	
Extended reality in AEC		■	■	■
Gamifying “Whole-Person Education”: the development of a mobile application with augmented reality			■	■
Immersive virtual environments for occupant comfort and adaptive behavior research – A comprehensive review of tools and applications	■			
Impact of extended reality on architectural education and the design process		■	■	■
Possibilidades de uso de realidade aumentada em AEC	■		■	■
Pre-Occupancy Evaluation Tools (P-OET) for early feasibility design stages using virtual and augmented reality technology		■		■
Sensor Fusion Based Pipeline Inspection for the Augmented Reality System	■			
The Building That Teaches: Exploring Augmented Reality Affordances in Academic Incubators	■		■	
The Impact of an Augmented Reality Application on Learning Motivation of Students			■	■
Validação de aplicativo comercial visando a incorporação da realidade aumentada a um modelo de avaliação pós-ocupação	■			

Fonte: os autores.

Quadro 4: Resumo do conteúdo dos artigos selecionados

Artigos	Palavras-chave	Pertinência ao trabalho
[19]	Realidade Aumentada; Realidade Virtual; Projeto de Arquitetura; Video Mapping; Dispositivos móveis; Maquetes	Relação entre RA, RV e engajamento no ensino de projeto de arquitetura
[20]	Virtual Reality; Pre-Design Evaluation; Post-Occupancy Evaluation; Survey	Aplicação de questionários de APO
[21]	Virtual Reality; Human comfort; Thermal sense; Outdoor environment; Human-environment interaction; Dispositivos móveis; BIM model	Uso de simulações para análise de comportamento e interação homem-ambiente
[22]	Augmented Reality; Behaviour Tracking; Feedback Loop; Occupancy Observation; Mixed Reality	Aplicação de RA em APO
[23]	Augmented Reality; Behaviour Tracking; Feedback Loop; Occupancy Observation; Mixed Reality	Ganhos do uso de RA no processo de projeto
[24]	Building energy performance gap; Occupant engagement; Design with Intent (DwT); Virtual reality	Uso de RV para análise de relação homem-ambiente
[25]	Virtual environments, Extended Realities, Information Modeling, Design Process, Architecture Education.	
[26]	Systematic literature review; Extended reality; Virtual reality; Augmented Reality; AEC	Abrangente revisão de literatura sobre emprego de RV e RA no campo da AEC
[27]	VR, BIM, gamification, integration, design automation, unreal engine, parametric design, collaboration	Emprego de RV e RA no processo de projeto
[28]	augmented reality in education; gamification; mobile learning application; whole-person education	Relação entre RA, RV e engajamento no ensino
[29]	Buildings; Occupant comfort; Adaptive behaviour; Immersive virtual reality (IVR); Immersive virtual environment (IVE); Validation	Uso de imersão virtual para análise de comportamento e interação homem-ambiente
[30]	Virtual Reality; Augmented Reality; Mixed Reality; Architectural education; Design process; Learning outcomes	Relação entre RA, RV e engajamento no ensino de projeto de arquitetura
[31]	Realidade Aumentada; Realidade Aumentada Móvel; Aplicativos; AEC	Artigo sobre possibilidades de aplicações em AEC
[32]	Virtual Reality, Augmented Reality; Pre-Occupancy Evaluation; Design Evaluation	RV e RA para tomada de decisão na fase de projeto
[33]	experiência de usuário; UX, realidade virtual; avaliação; questionário; questionário padronizado	Análise de experiência de usuário via questionário
[34]	Realidade Virtual; Avaliação Pré-Projeto; Usuário	Uso de RV em processos de avaliação de projetos
[35]	point cloud; LiDAR scanning; registration, retrofitting; BIM; sensor calibration	Emprego de RA em APO em processos de <i>retrofitting</i>
[36]	não encontradas	RA em APO
[37]	não encontradas	RA e engajamento no ensino
[38]	User-centered design; Immersive virtual reality; visual aesthetics; interactive particle swarm optimization; interior finishing material; personalized preferences	Uso de RV em tomadas de decisão de projeto
[39]	Realidade Aumentada; Building energy performance gap; Aplicativos; Sistemática	Aplicação de RA em APO

Fonte: os autores.

No quadro 4, a seguir, as mesmas publicações são relacionadas conforme suas palavras-chave e seus conteúdos principais em relação ao assunto desta pesquisa.

Entre os artigos listados, destacam-se alguns que abordam o tema da APO com as tecnologias de RA e RV bem como outros que, apesar de não se relacionarem diretamente com APO apresentam contribuições para os interesses da pesquisa, conforme apresentado a seguir.

Inicialmente, abordando de forma mais ampla o uso de RA e RV no campo de Arquitetura, Engenharia e Construção, [26] é um trabalho de revisão sistemática bastante sólido e detalhado, que analisa estudos relacionando essas áreas no período de 2011 a 2022. Entre seus resultados, a publicação destaca como investigação sobre o tema cresceram em quantidade de modo expressivo desde 2018, especialmente por pesquisadores localizados nos continentes asiático e europeu. As análises feitas revelam que a maior parte dos estudos no âmbito da arquitetura concentram-se nas áreas do patrimônio histórico, desenho urbano e projeto de arquitetura. Já em engenharia, os campos de destaque são o do projeto estrutural e construção. Por fim, no campo da construção, a maior parte dos estudos refere-se à gestão da construção e gestão da segurança.

Em [32] é abordada a utilização de tecnologia de realidade virtual e aumentada para a avaliação de soluções na fase de projeto arquitetônico. Apesar de aplicadas à fase de projeto, sua aplicação como ferramenta de coleta de dados e discussão de resultados tem potencial de aplicação em APO, uma vez que ela também possui fase de coleta de dados via entrevistas com usuários e análises *in loco* da edificação sob investigação.

Outro achado interessante encontra-se em [19]. Neste trabalho, apresenta-se como a Realidade Virtual pode ser empregada a fim de melhorar a experiência do usuário e aumentar o seu engajamento no processo de aprendizagem - o que pode, potencialmente, também melhorar o engajamento na participação de usuários de edificações nas etapas de coleta de dados de processos de APO.

Um trabalho interessante e que dialoga diretamente com APO é [20]. Esta publicação discute a adaptação de questionários de Avaliação Pós-Ocupação para a avaliação de ambientes virtuais. O estudo revela que o instrumento adaptado pode ser aplicado para avaliações visuais e sensações térmicas aparentes em ambientes virtuais. Do mesmo modo, no artigo [19], são demonstrados os benefícios do uso dessas tecnologias na melhoria da visualização espacial, pensamento crítico e experiência do usuário. Os demais artigos apresentam possibilidades mais remotas de aplicação em APO, geralmente abordando o uso de ferramentas de RV para tomada de decisões de projeto, como a análise dos comportamentos dos usuários nas edificações antes de serem construídas, como em [24].

Em relação aos achados referentes à aplicação de Realidade Aumentada em Avaliações Pós-Ocupação, o trabalho [31] aponta uma série de aplicações de RA em Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC). Dentre essas aplicações, destaca-se uma voltada para posicionar objetos virtuais em um ambiente real a fim de que análise de diferentes naturezas possam ser realizadas *in loco*: esta abordagem é interessante pois percebeu-se que poderia inserir objetos e perguntas relativas ao questionário de APO diretamente no ambiente real que está sendo analisado, inclusive. Outra aplicação relevante é a de criação de ambientes de RA que permitem recolher, armazenar e

exibir informações na tela de celulares ou tablets - ou seja, a partir da abordagem destas duas aplicações percebeu-se que a RA poderia ser empregada para migrar as perguntas do questionário de APO para o ambiente real que está sendo analisado, tornando a interação entre usuário, ambiente e questionário mais dinâmica, imersiva e lúdica, com grande potencial para o aumento do engajamento dos usuários no processo de APO e também com ganhos no aprendizado dos moradores em relação à qualidade de suas moradias. A publicação [37], por exemplo, demonstra que o emprego de RA ocasionou, entre os estudantes pesquisados, aumento de 30,72% de atenção, 10,74% de confiança, 12,50% de satisfação e 14,43% de motivação no geral. Ainda, em [28], os pesquisadores desenvolveram um aplicativo de RA educacional gamificado, no qual os usuários respondem a uma série de perguntas e recebem pontuação de acordo com suas respostas. Nos resultados, nota-se como a gamificação auxiliou os alunos no aprendizado e aumentou seu nível de interesse e adesão.

Outros artigos destacam-se por diferentes razões. Em [30] encontra-se uma revisão sistemática sobre publicações voltadas a compreender os ganhos do emprego de tais tecnologias no ensino de arquitetura. Em [39] apresenta-se os resultados dos testes de um aplicativo comercial de APO. Os testes foram realizados em um conjunto habitacional em Campinas e ocorreram da seguinte forma: a partir dos dados obtidos com um questionário simplificado de APO, modelou-se o edifício com as alterações identificadas e, através da Realidade Aumentada com uso de Pontos de Interesse, sobrepôs-se esse modelo ao ambiente real de forma que os moradores pudessem interagir virtualmente e adicionar informações sobre as mudanças no espaço construído. Entretanto, as autoras concluem que o aplicativo proposto não foi capaz de substituir ou aprimorar os métodos tradicionais, devido ao nível insuficiente da tecnologia e dos equipamentos utilizados, tornando a experiência bastante imprecisa e sem fluidez. Porém, esse artigo merece atenção, uma vez que suas limitações são de cunho tecnológico e, posto que passaram 10 anos desde o experimento, provavelmente tais problemas estejam superados ou bastante mitigados face ao estado da tecnologia atual.

Finalmente, em [29] encontra-se uma sistematização sobre as lacunas existentes em relação a pesquisas que relacionam imersividade virtual e avaliações de pós-ocupação. O diagnóstico feito por esses autores valida a necessidade de realização de investigações nesse campo, uma vez que ainda existem brechas consideráveis no conhecimento sobre os impactos do emprego de RA e RV em processos de APO.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Finalmente, a partir da revisão sistemática da literatura, nota-se que, apesar do aumento da utilização de ferramentas de RA e RV em AEC na última década [26], a aplicação dessas tecnologias na área de APO em específico ainda é escassa. Entretanto, ao analisar o uso de RA e RV em AEC, identifica-se os seguintes benefícios: aumento significativo de engajamento e melhora da experiência de usuários em questionários e em processos educativos[19][20][22][28][30][37], melhor visualização e entendimento de ambientes tridimensionais e soluções de projeto[19][23][34][38],

melhoria do processo de projeto arquitetônico[23][27][32][34][38], possibilidade de analisar mais precisamente o comportamento de moradores[21][22][24][29][36][39]. Diante disso, entende-se que é pertinente investigar a aplicação de RA e RV em APO, uma vez que as vantagens levantadas podem beneficiar o processo de análise de pós-ocupação tanto no momento de coleta de dados, ao aumentar o nível de engajamento de interesse dos entrevistados, quanto na fase de apresentação de resultados a fim de favorecer a educação dos moradores em relação à qualidade ambiental de suas moradias. Portanto, é necessário comprovar a hipótese levantada através de futuros estudos que abranjam essas áreas.

Frente a essas análises, percebeu-se a possibilidade de aplicação destas tecnologias na construção de dois artefatos, um baseado em RV e outro em RA, que permitam explorar os benefícios citados anteriormente. Espera-se, nas etapas subsequentes da pesquisa, desenvolver e testar tais artefatos a fim de verificar se, de fato, o emprego de tais tecnologias produzirão maior adesão dos moradores aos processos de APO e, ainda, se contribuirão para a educação dos mesmos em relação a conceitos relativos à qualidade ambiental de suas moradias e cidades.

AGRADECIMENTOS

À FAPEMIG – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Projeto APQ 02619-21), ao CNPQ - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico e à Universidade Federal de Uberlândia (UFU) pelo apoio e financiamento da pesquisa, instituições sem as quais não seria possível a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- [1] VILLA, S. B.; ORNSTEIN, S. W. (Org.) **Qualidade ambiental na habitação: avaliação pós-ocupação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.
- [2] BORJA, P.C. **Avaliação da qualidade ambiental urbana: uma contribuição metodológica**. 1997. Tese (Mestrado)–Faculdade de Arquitetura e Urbanismo/UFBA, Salvador,1997.
- [3] DE LIMA GUIMARÃES, S. T. **Nas trilhas da qualidade: algumas ideias, visões e conceitos sobre qualidade ambiental e de vida**. Geosul, v. 20, n. 40, p. 7-26, 2005.
- [4] FIALHO, A. B. **Realidade Virtual e Aumentada: Tecnologias para aplicações profissionais**. São Paulo: Érica, 2018.
- [5] CARDOSO, A. et al. **Conceitos de Realidade Virtual e Aumentada**. In: _____(Ed.) **Tecnologias para o Desenvolvimento de Sistemas de Realidade Virtual e Aumentada**. Recife: UFPE, 2007. p. 1-15.
- [6] VILLA, S. B.; GARCIA, G. M.; BURIGO, R.; SARAMAGO, R. de C. **P. Inovações tecnológicas no processo de APO da qualidade habitacional: uma breve revisão da literatura**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DE PROJETO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8., 2023. Anais [...]. [S. I.], 2023. DOI: 10.46421/sbqp.v8i.3970.
- [7] VILLA, S. B.; BURIGO, R.; SARAMAGO, R. de C. P. **Uma breve revisão da literatura integrada sobre avaliação pós-ocupação e qualidade ambiental**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DE PROJETO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8., 2023. Anais [...]. [S. I.], 2023. DOI: 10.46421/sbqp.v8i.3984.

- [8] DRESCH, Aline; LACERDA, Daniel P.; JÚNIOR, José A. V A. **Design science research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia.** Porto Alegre: Grupo A, 2015. E-book. ISBN 9788582605530. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788582605530/>. Acesso em: 31 mai. 2024.
- [9] ONO, R., ORNSTEIN, S. W., VILLA, S. B., FRANÇA, A. J. G. L. (Org.) **Avaliação Pós-Ocupação (APO) na Arquitetura, no Urbanismo e no Design: da Teoria à Prática.** São Paulo: Oficina de Textos, 2018.
- [10] VILLA, S. B. **Morar em Apartamentos: a produção dos espaços privados e semi-privados nos apartamentos ofertados pelo mercado imobiliário no século XXI - São Paulo e Ribeirão Preto, Critérios para Avaliação Pós-Ocupação.** Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de São Paulo / Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, São Paulo, 2008.
- [11] VAN DER VOORDT, T. J. M.; VAN WEGEN, H. B. R. **Arquitetura sob o olhar do usuário.** São Paulo: Oficina de Textos, 2013.
- [12] STEVENSON, F.; BABORSKA-NAROZNY, M. **Housing performance evaluation: challenges for international knowledge exchange.** Building Research & Information, v. 46, n. 5, p. 501-512, 2018.
- [13] KIRNER, C. AND SISCOOTTO, R. 2007. **Realidade Virtual e Aumentada: Conceitos, Projeto E Aplicações.** Porto Alegre: Editora SBC.
- [14] AZUMA, R. T. **A Survey of Augmented Reality. Presence: Teleoperators and Virtual Environments.** Columbus, v. 6, n. 4, p. 355-385, Aug. 1997.
- [15] TORI, R.; HOUNSELL, M. S da. **Introdução a Realidade Virtual e Aumentada.** Porto Alegre: Editora SBC, 2018.
- [16] HÖHL, W. **Interactive Environments With Open-Source-Software: 3D walkthroughs and augmented reality for architects with blender 2.43, DART 3.0 and ARToolKit 2.72.** Vienna: Springer Wien New York, 2009.
- [17] KIRNER, C.; KIRNER T. G.; CALONEGO JUNIOR, N.; BUK, C. V. **Uso de Realidade Aumentada em Ambientes Virtuais de Visualização de Dados.** In: SYMPOSIUM ON VIRTUAL REALITY, 7., 2004, São Paulo. Anais... São Paulo. 2004.
- [18] WANG, X., KIM, M. J., LOVE, P. E.D., KANG, S. **Augmented Reality in Built Environment: classification and implications for the future research.** Automation in Construction, v. 32, p. 1-13, 2013.
- [19] PEREIRA, V. **A realidade virtual e aumentada como ferramenta auxiliar no ensino de projeto arquitetônico: um estudo de caso em disciplinas de projeto de arquitetura e urbanismo.** Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Florianópolis, 2018.
- [20] PINHEIRO, P.S.J.; ORNSTEIN, S.W.; SHIMOMURA, A.R.P. **Adaptação de questionários de Avaliação Pós-Ocupação para avaliação de ambientes virtuais.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 2., 2019, Campinas, SP. Anais [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2019.
- [21] LYU, K.; GLOBA, A.; BRAMBILLA, A.; DEAR de R. **An immersive multisensory virtual reality approach to the study of human-built environment interactions: Technical workflows.** School of Architecture, Design and Planning, The University of Sydney. Australia, 2023.
- [22] RUSCHEL, R.; FREITAS, M. R. de. **Augmented Reality Applied to Building Assessment with Building Information Model Visualization.** Department of Architecture and Construction, State University of Campinas. Campinas, Brazil, 2014.

- [23] YAN, M.; TAMKE, M. **Augmented Reality for Experience-centered Spatial Design: A quantitative assessment method for architectural space.** In V. Stojakovic, & B. Tepavcevic (Eds.), *Towards a new, configurable architecture: Proceedings of the 39th eCAADe Conference - Volume 1*, University of Novi Sad, Novi Sad, Serbia, p. 173-180, 8-10 set. 2021.
- [24] NIU, S.; PAN, W.; ZHAO, Y. **A Virtual Reality Supported Approach to Occupancy Engagement in Building Energy Design for Closing the Energy Performance Gap.** The Department of Civil Engineering, the University of Hong Kong. Hong Kong, 2015.
- [25] AGUIAR, B.; MELO, R.; NASCIMENTO E.; SÁ, C.; CARDOSO, D.; LIMA, M. **Extended Realities and New Digital Approaches in Architecture Education: Model for Integration in the Design Process.** SIGraDi 2023. Accelerated Landscapes.
- [26] TRINDADE, V.N.; FERREIRA, A.; PEREIRA, M. J.; OLIVEIRA, S. **Extended reality in AEC.** *Automation in Construction*, v. 154. Lisboa, 2023.
- [27] POTSELUYKO, L.; RAHIMIAN, P. F.; DAWOOD, N.; HAJIRASOULI, A. **Game-like interactive environment using BIM-based virtual reality for the timber frame self-build housing sector.** *Automation in Construction*, v. 142. UK, Australia, 2022.
- [28] MARCIAL, D. E.; DY, J. M.; MONTEMAYOR, J. O. **Gamifying “Whole-Person Education”: the development of a mobile application with augmented reality.** *Information Technologies and Learning Tools*, Vol 91, N° 5, 2022.
- [29] ALAMIRAH, H.; SCHWEIKER, M.; AZAR, E. **Immersive virtual environments for occupant comfort and adaptive behavior research – A comprehensive review of tools and applications.** *Building and Environment*, Volume 207, Part A. January 2022.
- [30] KHARVARI, F.; KAISER, L. E. **Impact of extended reality on architectural education and the design process.** *Automation in construction*, v. 141, 2022.
- [31] CUPERSCHMID, A.R.M; FREITAS, M. R. de. **Possibilidades de uso de Realidade Aumentada Móvel para AEC.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 3.; ENCONTRO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 6., 2013, Campinas. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2013. p. 1-12.
- [32] MOLONEY, J.; GLOBALA, A.; WANG, R.; KHOO, K. C. **Pre-Occupancy Evaluation Tools (P-OET) for early feasibility design stages using virtual and augmented reality technology.** P. Rajagopalan and M.M Andamon (eds.), *Engaging Architectural Science: Meeting the Challenges of Higher Density: 52nd International Conference of the Architectural Science Association 2018*, pp.717–725. The Architectural Science Association and RMIT University, Australia, 2018.
- [33] CHEIRAN, J. F. P.; BANDEIRA, D. R.; PIMENTA, M. S. (2021). **Proposta de questionário padronizado para avaliação de Experiência de Usuário em Realidade Virtual imersiva.** *Anais Estendidos do Simpósio Brasileiro de Fatores Humanos em Sistemas Computacionais (IHC)*, [S.l.], p. 183-191, out. 2022. ISSN 0000-0000.
- [34] PINHEIRO, P. **Realidade Virtual como ferramenta de avaliação de projeto de Arquitetura: uma experiência museológica.** Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. Área de concentração: Tecnologia da Arquitetura. São Paulo, 2020.
- [35] KUMAR, G. A.; PATIL, A. K.; KANG, T. W.; CHAI, Y.H. **Sensor Fusion Based Pipeline Inspection for the Augmented Reality System.** *Symmetry*, v. 11, issue 10, 2019.
- [36] SCOLERE, L.; MALININ, L. **The Building That Teaches: Exploring Augmented Reality Affordances in Academic Incubators.** *Journal of Interior Design*, v.48, 2022.

- [37] KHAN, T.; JOHNSTON, K. OPHOFF, J. **The Impact of an Augmented Reality Application on Learning Motivation of Students.** Advances in Human-Computer Interaction, v. 2019(2), 2019.
- [38] ZHANG, Y.; LIU, H.; ZHAO, M.; AL-HUSSEIN, M. **User-Centered Interior Finishing Material Selection: An Immersive Virtual Reality-based Interactive Approach.** Automation in Construction, v.106, 2016.
- [39] FREITAS, M. R. de; RUSCHEL, R. C. **Validação de aplicativo comercial visando à incorporação da realidade aumentada a um modelo de avaliação pós-ocupação.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 15, n. 2, p. 97-112, abr./jun. 2015.
- [40] PREISER, W. F. E.; RABINOWITZ, H. Z.; WHITE, E. T. **Post-Occupancy Evaluation.** New York: Van Nostrand Reinhold, 1988.