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

Influência dos Stakeholders em Projetos Sustentáveis: O Efeito Mediador da Adoção do BIM

Stakeholders Influence on Sustainable Projects: The Mediating Effect of BIM Adoption

Josivan Leite Alves
Universidade Federal de Pernambuco | Recife | Brasil | Josivan.leite@ufpe.br
Rachel Perez Palha
Universidade Federal de Pernambuco | Recife | Brasil | Rachel.palha@ufpe.br
Adiel Teixeira de Almeida Filho
Universidade Federal de Pernambuco | Recife | Brasil | Adielfilho@cin.ufpe.br

Resumo

A Modelagem de Informação da Construção (BIM) pode incorporar de forma eficiente princípios de sustentabilidade, enquanto a influência dos *stakeholders* pode moldar a indústria da construção, proporcionando o desenvolvimento de projetos sustentáveis. Nesse contexto, este artigo tem como objetivo investigar o efeito mediador da adoção de BIM na sustentabilidade em projetos de construção, considerando as influências dos *stakeholders* nas três dimensões da sustentabilidade. Propõe-se e valida-se um modelo teórico aplicando modelagem de equações estruturais, usando o *software* SmartPLS 3.0. Os resultados do modelo mostram que o BIM tem um efeito positivo significativo ($p < 0,01$) nas dimensões sociais, econômicas e ambientais da sustentabilidade. Além disso, a influência dos stakeholders tem um efeito positivo significativo ($p < 0,01$) no BIM. Esta pesquisa oferece suporte empírico para o efeito mediador específico da adoção de BIM e stakeholders em projetos sustentáveis. Ao correlacionar três dimensões na implementação de BIM e validar empiricamente essas inter-relações, este estudo pode auxiliar pesquisadores na avaliação de modelos conceituais de fatores de sustentabilidade de projetos.

Palavras-chave: Sustentabilidade. Projetos de Construção. Adoção BIM. Stakeholders.

Abstract

Building Information Modeling (BIM) can efficiently incorporate sustainability principles, while stakeholder influence can shape the construction industry, enabling the development of sustainable projects. In this context, this article aims to investigate the mediating effect of BIM adoption on sustainability in construction projects, considering the influences of stakeholders on the three dimensions of sustainability. A theoretical model is proposed and validated by applying structural equation modeling, using the SmartPLS 3.0 software. The model results show that BIM has a significant positive effect ($p < 0.01$) on the social, economic and environmental dimensions of sustainability. Furthermore, stakeholder influence has a significant positive effect ($p < 0.01$) on BIM. This research provides empirical support for the

Como citar:
Alves, J.L.; Palha, R.P.; Almeida Filho, A. T. Influência dos Stakeholders em Projetos Sustentáveis: O Efeito Mediador da Adoção do BIM**. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. Anais... Maceió: ANTAC, 2024.**

specific mediating effect of BIM adoption and stakeholders in sustainable projects. By correlating three dimensions in BIM implementation and empirically validating these interrelationships, this study can assist researchers in evaluating conceptual models of project sustainability factors.

Keywords: Sustainability. Construction projects. BIM adoption. Stakeholders.

INTRODUÇÃO

A adoção das dimensões da sustentabilidade em projetos da construção civil pode reduzir os impactos ambientais, aumentar a viabilidade econômica e assegurar a satisfação das partes interessadas do projeto durante o ciclo de vida da construção. Quando se trata de tecnologias disruptivas, o *Building Information Modeling* (BIM) apresenta a oportunidade de combinar os princípios da sustentabilidade nos projetos de construção, pois o uso do BIM pode viabilizar simulações virtuais que replicam a realidade por meio de informações ativas e interativas. A natureza multidimensional do BIM, que incorpora simulações de projeto, custo e cronograma, análises energéticas e avaliações focadas na manutenção, fornece uma abordagem técnica e funcional, capaz de acomodar requisitos sustentáveis [1].

[2] argumentam que acadêmicos e profissionais têm discutido os efeitos potenciais da adoção da tecnologia de simulação virtual no direcionamento dos objetivos de projetos da construção civil. A utilização do BIM em projetos sustentáveis pode auxiliar o estudo do impacto regional da construção no meio ambiente e permite a definição de metas sustentáveis, análise de desempenho, otimização, comparação e modificação da arquitetura do edifício [3].

Neste contexto, este artigo tem como objetivo investigar o efeito mediador da adoção do BIM na sustentabilidade em projetos da construção civil, considerando as influências dos *stakeholders* nas três dimensões da sustentabilidade (dimensão econômica, ambiental e social). Para atender a esse objetivo, este artigo propõe e valida um modelo teórico por meio de questionário, aplicando modelagem de equações estruturais por mínimos quadrados parciais (*Partial Least Squares Structural Equation Modeling* - PLS-SEM). A amostra é composta por profissionais da indústria da construção com experiência prática em BIM no âmbito de projetos sustentáveis.

PROPOSIÇÃO DAS HIPÓTESES

Neste artigo argumenta-se que o uso do BIM estabelece as conexões entre as partes interessadas do projeto, leva à abertura e à transparência, promove a negociação e a redução de conflitos e mitiga as assimetrias de informação [2] [4]. Além disso, a pressão pela representação digital e multidisciplinar pelos clientes fomentam a adoção de BIM. Assim, propõe-se a seguinte hipótese:

Hipótese H1: As partes interessadas têm um efeito significativo na adoção do BIM.

A adoção da tecnologia digital melhora a qualidade e a eficiência da aquisição de informações quantitativas dos projetos. Dados precisos promovem o desempenho econômico ao quantificar os recursos necessários para a realização do trabalho,

reduzindo mudanças de decisões, erros ou retrabalhos. Além disso, esta adoção melhora a computação e análise de dados, auxiliando decisões racionais [2]. A tecnologia BIM auxilia na viabilidade econômica, aumentando a produtividade e reduzindo desperdícios [1] [5]. Assim, propõe-se a seguinte hipótese:

Hipótese H2: O BIM em projetos de construção sustentável afeta significativamente a dimensão econômica da sustentabilidade.

A correlação entre sustentabilidade e BIM refere-se a uma busca ativa por construções mais sustentáveis e eficientes, promovendo o equilíbrio econômico, social e ecológico. O processo colaborativo BIM, que se baseia na prototipagem virtual dos edifícios onde todas as disciplinas são integradas nas fases iniciais, permite um ciclo evolutivo de processos com menor impacto ambiental e maior eficiência. Além disso, o BIM facilita o planejamento de construção sustentável, a gestão eficiente de recursos e a manutenção de edifícios para prolongar a sua vida útil [1] [5]. Assim, propõe-se a seguinte hipótese:

Hipótese H3: O BIM em projetos de construção sustentável afeta significativamente a dimensão ambiental da sustentabilidade.

[6] propõem indicadores relacionados a qualidade interna da habitação (conforto e saúde), aspectos sociais e culturais, geração de renda e responsabilidade social, aspectos políticos institucionais e segurança. Espera-se que a implementação do BIM impacte positivamente as três dimensões da sustentabilidade, sendo elas a dimensão econômica, ambiental e social [7]. Assim, propõe-se a seguinte hipótese:

Hipótese H4: O BIM em projetos de construção sustentável afeta significativamente a dimensão social da sustentabilidade.

Pesquisadores como [8] abordam o conceito de stakeholders como indivíduos e organizações envolvidas no projeto. As partes interessadas também podem ser indivíduos ou organizações que possam ser afetados pela execução ou conclusão do projeto. [8] também argumentam que a adoção eficiente do BIM requer a participação ativa das partes interessadas e explora o efeito entre o BIM e o desempenho do projeto. [9] argumentam que as partes interessadas do projeto influenciam significativamente a adoção do BIM porque o uso do BIM trouxe atividades novas e complexas para um processo de gerenciamento de projetos de construção já complexo.

Os arquitetos podem inserir dados espaciais em modelos BIM, que não apenas identificam a localização geográfica do canteiro de obras, mas também importam informações essenciais. Essas informações incluem coordenadas GPS e mapas topográficos, dados climáticos históricos, como temperatura, umidade e precipitação, padrões de vento e exposição solar. Também podem englobar características do terreno, proximidade de corpos d'água e infraestrutura existente, posições de edificações vizinhas, além de fontes locais de materiais de construção e fornecedores de serviços. Essas informações auxiliam a equipe de projeto na análise de vários aspectos, como clima, contexto local, sistemas circundantes e recursos disponíveis. Posteriormente, os projetistas podem manipular e reposicionar o edifício dentro do

contexto específico, minimizando assim a sua pegada ambiental e estimando com precisão a orientação solar ideal para melhorar a eficiência energética [10] [6] [11]. Assim, propõe-se as seguintes hipóteses:

Hipótese H5a: A adoção do BIM tem um efeito mediador entre as partes interessadas e a dimensão ambiental da sustentabilidade.

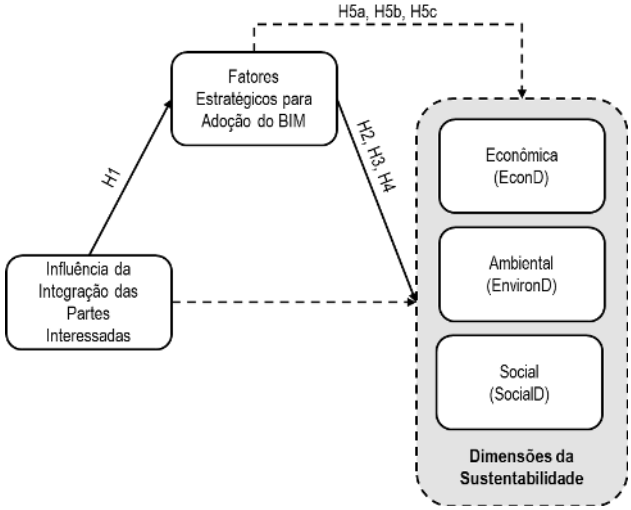
Hipótese H5b: A adoção do BIM tem um efeito mediador entre as partes interessadas e a dimensão econômica da sustentabilidade.

Hipótese H5c: A adoção do BIM tem um efeito mediador entre as partes interessadas e a dimensão social da sustentabilidade.

METODOLOGIA

Este artigo busca validar um modelo teórico mostrado na Figura 1 por meio de pesquisa *survey*, empregando PLS-SEM. Esta pesquisa quantitativa investiga a influência dos *stakeholders* na relação entre adoção do BIM e sustentabilidade. As hipóteses propostas da pesquisa são fundamentadas na literatura de forma que as variáveis foram operacionalizadas conforme mostrado no Apêndice A [6] [11]. O artigo realiza um *path analysis* e testes de hipóteses através do método PLS-SEM utilizando o pacote de software Smartpls 3.0.

Figura 1: Proposição do Modelo Conceitual



Fonte: os autores.

COMPOSIÇÃO DA AMOSTRA E COLETA DE DADOS

A coleta de dados foi feita por meio de um questionário online, de forma que cada participante avaliou as variáveis do Apêndice A em uma escala de 1 a 7, sendo 1 discordo totalmente e 7 concordo totalmente. O questionário foi dirigido aos profissionais da indústria da construção (que cumprem os requisitos discutidos a seguir). O questionário foi disponibilizado na versão em inglês e em português.

O instrumento de pesquisa utilizado para a coleta de dados foi divulgado nas comunidades profissionais da indústria da construção. Os membros dessas comunidades ocupam cargos como Gerente BIM, Modelador BIM, Coordenador BIM,

Analista BIM, Consultor BIM, entre outros. O perfil analisado ficou restrito a profissionais da indústria da construção com pelo menos graduação e ocupante de cargo relacionado a BIM (ex.: gerente BIM) e que tenham se envolvido em projetos sustentáveis utilizando BIM nos últimos dois anos. Caso os respondentes não cumprissem esses requisitos, o questionário encerrava automaticamente e disparava uma mensagem de agradecimento pelo interesse.

Para realizar a análise, foi utilizado o software G*Power 3.0 para determinar o tamanho mínimo da amostra, realizando um teste F por meio de regressão linear múltipla com modelo fixo e avaliando o desvio do R^2 de zero. Nesta análise a priori, foram consideradas as seguintes entradas: tamanho do efeito (f^2) de 0,15, probabilidade de erro (α) de 0,05, poder desejado (1-β) de 0,95 e o número de preditores sendo 3. Assim o tamanho de amostra total mínimo é de 119 respostas válidas [12]. Todas as questões do questionário eram obrigatórias, de modo que, caso o respondente descumprisse pelo menos um dos requisitos, encerravam-se automaticamente as perguntas. Isso resultou em uma amostra de 184 respostas válidas.

ANÁLISE DOS DADOS

A análise de PLS-SEM utiliza composições de variáveis observadas para representar variáveis latentes, permitindo assim a estimativa de várias formas de relacionamentos não lineares dentro do modelo [13]. O software SmartPLS 3.0 foi utilizado para a modelagem e teste de hipóteses [14].

Foi analisado o *Common Method Bias* (CMB) para evitar padrões patológicos de colinearidade, aplicando o algoritmo de caminho no software SmartPLS 3.0 [14]. O CMB pode ser detectado através de uma abordagem completa de avaliação de colinearidade; portanto, os valores VIF internos devem ser inferiores ao limite de 3,3 [15]. Todos os valores VIF internos do modelo são inferiores a 3,3. Além disso, analisou-se o fator único de Harman que não pode ser superior a 50% de CMB. O fator de Harman nesta pesquisa é 31,68% não apontando problemas com CMB.

Neste estudo, a validade convergente foi avaliada por meio da variância média extraída (AVE), sendo considerados valores aceitáveis aqueles que igualassem ou ultrapassassem 50%. A validade discriminante foi avaliada, garantindo que todos os valores permanecessem abaixo ou iguais a 0,9. Para determinar a significância estatística dos efeitos quadráticos, foi empregado um procedimento de *bootstrapping* com 5.000 amostras. O tamanho do efeito foi medido usando f^2, indicando o impacto dos termos de interação no R^2 dos construtos endógenos, com valores de f^2 de 0,02, 0,15 e 0,35 representando tamanhos de efeito pequeno, médio e grande, respectivamente. Além disso, foi realizado um teste unilateral, relatando R^2, R^2 ajustado, efeitos totais, significância (valor-p) e fator de inflação de variância (VIF) de construtos endógenos [16].

RESULTADOS

CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA

Todos os participantes do questionário responderam que possuem três anos ou mais de experiência com projetos sustentáveis que utilizam tecnologia, processos e/ou ferramentas BIM. Todos os entrevistados possuem pelo menos especialização ou MBA em BIM. Cerca de 50% dos entrevistados relataram um alto envolvimento das partes interessadas nos seus projetos BIM quando há necessidade de atender aos requisitos de sustentabilidade. 38% apontam médio envolvimento e 12% apontaram baixo envolvimento. Isto pode explicar o porquê de 26% da amostra apontar que o BIM é utilizado devido a utilidade do software e tem sido implementado como uma medida estratégica (22%) para a organização. A principal aplicação do BIM apresentada pela amostra foi em projetos residenciais unifamiliares (40%), seguida de edificações multifamiliares (38%). Cerca de 69% da amostra é composta por brasileiros e os demais atuam em projetos BIM sustentáveis em outros países.

AVALIAÇÃO DO MODELO DE MEDIÇÃO

Para a validade discriminante foi necessária a realização de duas rodadas de validação. O critério utilizado foi observar se a raiz quadrada da AVE era maior que a correlação entre as variáveis. Além disso, foi verificada a carga cruzada, analisando se a correlação é maior no construto almejado do que em qualquer outra variável latente. Para atingir ambos os critérios, na primeira rodada foram retirados os quatro indicadores de BIM (BIM3, BIM4, BIM8 e BIM9), um de Dimensão Ambiental (EnvironD1) e dois de Influência dos *Stakeholders* (SI6 e SI10). Para a segunda rodada, BIM10, EconD2, EconD7 e SI7 foram retirados.

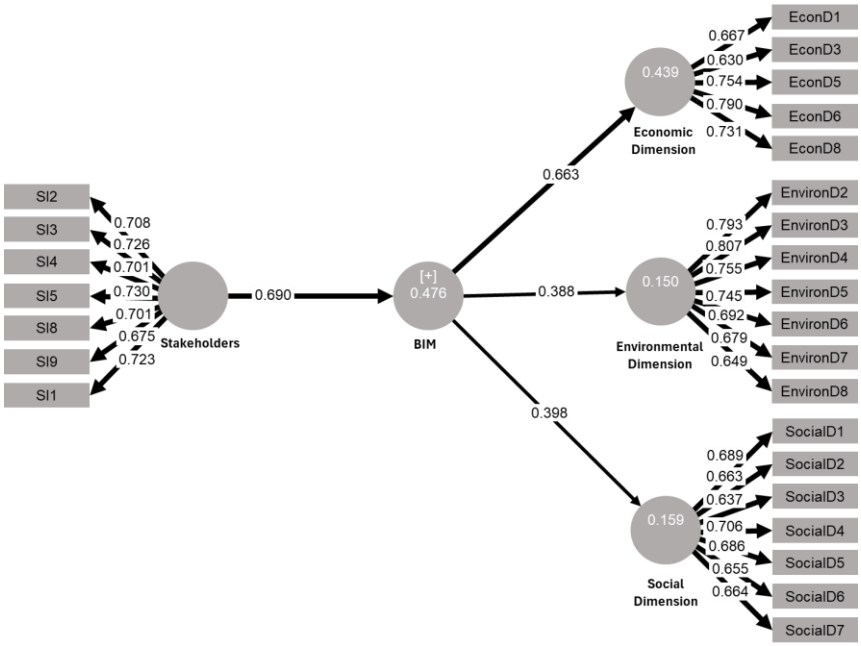
Todas as variáveis manifestas apresentaram fatores de carga superiores a 0,6 para a respectiva variável latente, conforme apresentado na Figura 2. A análise da Variância Média Extraída (AVE) apresentou valores superiores a 0,5 para todas as variáveis latentes [17]. A confiabilidade composta e o Alfa de Cronbach apresentaram valores superiores a 0,7 para todas as variáveis latentes [18] [19], assim como mostra a Tabela 1.

Tabela 1: Confiabilidade do Construto e Validade Discriminante

	BIM	Econ	Environ	Social	Stakeholders	
BIM	**0.719**					
Dimensão Econômica (Econ)	0.663	**0.717**				
Dimensão Ambiental (Environ)	0.388	0.549	**0.733**			
Dimensão Social (Social)	0.398	0.500	0.673	**0.672**		
Stakeholders	0.690	0.458	0.422	0.329	**0.709**	
Cronbach's Alpha	0.928	0.772	0.863	0.813	0.836	> 0.7
Composite Reliability	0.937	0.840	0.890	0.852	0.876	> 0.7
Average Variance Extracted (AVE)	0.518	0.514	0.538	0.501	0.503	> 0.5

Fonte: os autores.

Figura 2: Indicadores do modelo de mensuração



Nota: Os valores nas setas indicam os coeficientes do caminho.
Fonte: os autores.

TESTE DE HIPÓTESES POR MEIO DE VALIDAÇÃO DE MODELO ESTRUTURAL

A etapa subsequente envolveu a realização de simulações de *bootstrapping* no SmartPLS 3.0 para validar o modelo estrutural e realizar testes de hipóteses. O teste de hipótese foi realizado usando 5.000 subamostras de *bootstrap* [20] [21] [14].

A Tabela 2 apresenta os resultados das relações postuladas, tamanhos de efeito e coeficientes padronizados, juntamente com seus correspondentes VIF, estatísticas t e valores p. Em relação ao modelo estrutural, quaisquer receios em relação à colinearidade foram resolvidos descartando-se quaisquer valores do fator de inflação da variância (VIF) superiores a 5 [20].

Tabela 2: Validação de Modelos Estruturais: Teste de Hipóteses

Path	H	VIF	Original Sample (O)	Standard Deviation (STDEV)	T Statistics (|O/STDEV|)	P Values	fSquare	R Square	RSquare Adjusted
BIM -> EconD	H2	1.000	0.663	0.040	16.755	0.000*	0.784	0.439	0.436
BIM -> EnvironD	H3	1.000	0.388	0.059	6.521	0.000*	0.177	0.150	0.146
BIM -> SociaD	H4	1.000	0.398	0.063	6.327	0.000*	0.189	0.159	0.154
Stak -> BIM	H1	1.000	0.690	0.044	15.796	0.000*	0.910	0.476	0.474

*P < 0.01 Supported

Fonte: os autores.

O coeficiente de determinação (R^2) quantifica a fração de variância de uma variável endógena explicada pelas variáveis independentes. O R^2 Ajustado é uma modificação do R^2 que considera o tamanho da amostra na avaliação das variáveis independentes incorporadas ao modelo. O modelo confirma que o BIM tem uma influência significativa nas dimensões da sustentabilidade (ver Tabela 2), com um efeito substancial do R^2 em H1 e H2 [18]. Além disso, as hipóteses H1 e H2 apresentam tamanho de efeito significativo ($f^2 \geq 0{,}35$). As hipóteses H3 e H4 têm tamanho de efeito médio ($f^2 \geq 0.15$).

Os resultados do modelo PLS-SEM mostram que o BIM tem um efeito positivo significativo ($p < 0,01$) nas dimensões sociais, econômicas e ambientais da sustentabilidade, apoiando as hipóteses H2, H3 e H4. Além disso, a influência das partes interessadas tem um efeito positivo significativo ($p < 0,01$) no BIM, apoiando H1.

ANÁLISE DE MEDIAÇÃO

A análise de mediação é um tipo de análise onde a variável mediadora atua como intermediária entre dois construtos associados. Especificamente, os pesquisadores investigam se uma mudança no construto independente leva a uma modificação na variável mediadora, impactando subsequentemente o construto dependente [20]. O modelo de mediação apresentado neste artigo descreve como a variável independente (X = Influência dos Stakeholders) afeta uma variável dependente (Y = dimensões econômica, ambiental e social) através do potencial efeito mediador do BIM e das dimensões de sustentabilidade [22]. A Tabela 3 resume os efeitos de mediação do BIM.

Tabela 3: Teste de hipóteses para o efeito de mediação

Path	H	Original Sample (O)	Sample Mean (M)	Standard Deviation (STDEV)	T Statistics (|O/STDEV|)	P Values
Stak -> BIM -> SocialD	H5c	0.275	0.292	0.050	5.542	0.000
Stak -> BIM -> EconD	H5b	0.458	0.466	0.046	10.007	0.000
Stak -> BIM -> EnvironD	H5a	0.268	0.282	0.050	5.346	0.000

*P < 0.01 Supported
Fonte: os autores.

Os resultados mostram que a associação entre a influência dos stakeholders e a adoção do BIM correlaciona-se positivamente com os requisitos de sustentabilidade. Primeiro, o BIM tem um efeito mediador significativo e positivo (O=0,275) entre a influência das partes interessadas e a dimensão social, apoiando o H5c (P<0,01). Em segundo lugar, o BIM tem um efeito mediador significativo e positivo (O=0,458) entre a influência das partes interessadas e a dimensão econômica, apoiando o H5b (P < 0,01). Terceiro, o BIM tem um efeito mediador significativo e positivo (O=0,268) entre a influência das partes interessadas e a dimensão ambiental, apoiando a H5a (P<0,01).

Pesquisas anteriores como [22] afirmam que o BIM pode efetivamente melhorar a eficiência da gestão de custos em todas as fases, regulando eficazmente as despesas globais dos projetos de construção. O BIM estabelece uma plataforma de compartilhamento de informações, conseguindo coordenação e cooperação na gestão de custos entre todas as etapas e todas as partes interessadas [22]. Para os aspectos sociais, [2] elucidam que a adoção do BIM melhora a segurança ao fornecer uma análise automatizada dos requisitos de segurança. A adoção do BIM pode melhorar a satisfação do público e dos usuários, reduzindo a assimetria de informações.

Com o suporte da tecnologia BIM, uma organização pode reunir os requisitos dos usuários e fornecer *feedback* de maneira precisa e oportuna. A associação desta tecnologia com o apoio dos diferentes stakeholders dos projetos pode reduzir a

incerteza relacionada às necessidades dinâmicas dos usuários [23]. Incorporar requisitos ambientais no BIM é um fator positivo para a sustentabilidade do projeto. Destacam-se a importância de verificar oportunidades de melhoria com base na identificação dos principais impactos ambientais no ciclo de vida dos projetos, na importância de avaliar as mudanças ocorridas nos ecossistemas onde o projeto será construído, na comunicação interna ou externa com as partes interessadas e o estabelecimento de métricas padronizadas e identificação de indicadores-chave de desempenho ambiental para edifícios [1][5][24].

CONCLUSÃO

Este estudo aborda uma lacuna relevante de pesquisa ao investigar o papel do BIM na promoção da sustentabilidade em projetos. Ele introduz um modelo de pesquisa validado para os domínios de projetos de construção e sustentabilidade, oferecendo direcionamentos sobre as relações entre o BIM, as partes interessadas e as dimensões ambientais, sociais e econômicas da sustentabilidade.

A contribuição teórica do modelo de pesquisa fica demonstrada ao vincular o BIM à sustentabilidade em projetos de construção, considerando a influência de diferentes partes interessadas. Ao vincular os campos teóricos das partes interessadas e da sustentabilidade, especialmente considerando o impacto moderador da adoção do BIM, esta pesquisa pode ampliar a compreensão de como as práticas de BIM podem ser alinhadas e otimizadas para promover objetivos sustentáveis. Por exemplo, quando se pensa em habitação social, a aplicação do BIM pode facilmente proporcionar a quantificação e simulação de cenários para uma melhor pegada ecológica do que se pretende construir. Isso inclui a seleção de fornecedores e materiais sustentáveis e economicamente viáveis, simulações sobre a incidência de iluminação e ventilação naturais e estabelecimento de meios de captação e reuso de águas pluviais. Do ponto de vista técnico, estes elementos já seriam suficientes para garantir a sustentabilidade e são facilmente integrados ao BIM. Contudo, ao avaliar o impacto das partes interessadas, o panorama muda. Do ponto de vista do governo, a habitação deve cumprir os critérios de responsabilidade social, defender a dignidade humana e aderir à legislação em vigor. Para a comunidade, as obras devem respeitar as restrições ambientais, garantindo a preservação da fauna e da flora local. Quanto aos clientes – especificamente os residentes da habitação social – o conjunto habitacional deve abranger a criação de instituições de ensino, instalações de saúde, infraestruturas de segurança, proximidade do local de trabalho e fácil acesso a transportes públicos. Ou seja, a estratégia para a modelagem dos projetos sustentáveis com BIM é acometida com diversas camadas complexas.

Além disso, foram analisados os potenciais efeitos das partes interessadas nas relações BIM e de sustentabilidade. Os profissionais da área podem compreender as expectativas e influências desses *stakeholders* no contexto BIM-sustentabilidade, adotando uma abordagem colaborativa para o gerenciamento de projetos de construção. A colaboração eficaz entre as partes interessadas, como subcontratados e clientes, pode ser essencial para o sucesso de projetos sustentáveis.

As limitações do estudo oferecem orientação para pesquisas futuras. Primeiro, a maior parte dos dados coletados centrou-se nas percepções dos gerentes de projetos de construção brasileiros. Portanto, pesquisas futuras podem abranger uma maior dispersão geográfica a fim de permitir a generalização dos resultados e compreender melhor como as características contextuais moldam o modelo de pesquisa. Em segundo lugar, os dados não são longitudinais, o que significa que as associações entre as variáveis não podem ser interpretadas temporalmente.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) e Fundação de Amparo a Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE).

REFERÊNCIAS

[1] De Bortoli, Anne; Baouch, Yacine; Masdan, Mustapha. BIM can help decarbonize the construction sector: Primary life cycle evidence from pavement management systems. **Journal of Cleaner Production**, *[S. l.]*, v. 391, p. 136056, 2023. ISSN: 09596526. DOI: 10.1016/j.jclepro.2023.136056.
[2] Li, Ying; sun, Hua; LI, Dakun; Song, Jian; Ding, Ronggui. Effects of Digital Technology Adoption on Sustainability Performance in Construction Projects: The Mediating Role of Stakeholder Collaboration. **Journal of Management in Engineering**, *[S. l.]*, v. 38, n. 3, 2022. ISSN: 0742-597X. DOI: 10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0001040.
[3] Liu, Qibo; Wang, Zixin. Green BIM-based study on the green performance of university buildings in northern China. **Energy, Sustainability and Society**, *[S. l.]*, v. 12, n. 1, p. 12, 2022. ISSN: 2192-0567. DOI: 10.1186/s13705-022-00341-9.
[4] Manzoor, Bilal; Othman, Idris; Gardezi, Syed Shujaa Safdar; Harirchian, Ehsan. Strategies for Adopting Building Information Modeling (BIM) in Sustainable Building Projects—A Case of Malaysia. **Buildings**, *[S. l.]*, v. 11, n. 6, p. 249, 2021. ISSN: 2075-5309. DOI: 10.3390/buildings11060249.
[5] Zhang, Xuan; Zhang, Xueqing. An automated project carbon planning, monitoring and forecasting system integrating building information model and earned value method. **Journal of Cleaner Production**, *[S. l.]*, v. 397, p. 136526, 2023. ISSN: 09596526. DOI: 10.1016/j.jclepro.2023.136526.
[6] Martens, Mauro L.; Carvalho, Marly M. Key factors of sustainability in project management context: A survey exploring the project managers' perspective. **International Journal of Project Management**, *[S. l.]*, v. 35, n. 6, p. 1084–1102, 2017. ISSN: 02637863. DOI: 10.1016/j.ijproman.2016.04.004.
[7] Reizgevičius, Marius; Ustinovičius, Leonas; Cibulskienė, Diana; Kutut, Vladislavas; Nazarko, Lukasz. Promoting Sustainability through Investment in Building Information Modeling (BIM) Technologies: A Design Company Perspective. **Sustainability**, *[S. l.]*, v. 10, n. 3, p. 600, 2018. ISSN: 2071-1050. DOI: 10.3390/su10030600.
[8] Zhang, Hong Min; Chong, Heap-Yih; Zeng, Yu; Zhang, Wei. The effective mediating role of stakeholder management in the relationship between BIM implementation and project performance. **Engineering, Construction and Architectural Management**, *[S. l.]*, 2022. ISSN: 0969-9988. DOI: 10.1108/ECAM-04-2020-0225.
[9] Singh, Sukhtaj; Chinyio, Ezekiel; Suresh, Subashini. The key enablers, techniques

and benefits of managing stakeholders within BIM supported projects. **Journal of Engineering, Design and Technology**, *[S. l.]*, v. 21, n. 2, p. 469–485, 2023. ISSN: 1726-0531. DOI: 10.1108/JEDT-04-2021-0203.
[10] Barros, Belarmino Augusto F. S.; SOTELINO, Elisa D. Constructability and Sustainability Studies in Conceptual Projects: A BIM-Based Approach. **Journal of Construction Engineering and Management**, *[S. l.]*, v. 149, n. 4, 2023. ISSN: 0733-9364. DOI: 10.1061/JCEMD4.COENG-12767.
[11] Olawumi, Timothy O.; Chan, Daniel W. M. Critical success factors for implementing building information modeling and sustainability practices in construction projects: A Delphi survey. **Sustainable Development**, *[S. l.]*, v. 27, n. 4, p. 587–602, 2019. ISSN: 09680802. DOI: 10.1002/sd.1925.
[12] Faul, Franz; Erdfelder, Edgar; Lang, Albert-Georg; buchner, Axel. G*Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. **Behavior Research Methods**, *[S. l.]*, v. 39, n. 2, p. 175–191, 2007. ISSN: 1554-351X. DOI: 10.3758/BF03193146.
[13] Basco, Rodrigo; Hair, Joseph F.; Ringle, Christian M.; Sarstedt, Marko. Advancing family business research through modeling nonlinear relationships: Comparing PLS-SEM and multiple regression. **Journal of Family Business Strategy**, *[S. l.]*, p. 100457, 2021. ISSN: 18778585. DOI: 10.1016/j.jfbs.2021.100457.
[14] Ringle, Christian M.; Da Silva, Dirceu; Bido, Diógenes De Souza. Structural Equation Modeling with the Smartpls. **Revista Brasileira de Marketing**, *[S. l.]*, v. 13, n. 2, p. 56–73, 2015. ISSN: 2177-5184. DOI: 10.5585/remark.v13i2.2717.
[15] Kock, Ned. Common Method Bias in PLS-SEM. **International Journal of e-Collaboration**, *[S. l.]*, v. 11, n. 4, p. 1–10, 2015. ISSN: 1548-3673. DOI: 10.4018/ijec.2015100101.
[16] Henseler, Jörg; Ringle, Christian M.; Sinkovics, Rudolf R. The use of partial least squares path modeling in international marketing. *In*: **New Challenges to International Marketing (Advances in International Marketing)**. [s.l.: s.n.]. p. 277–319. DOI: 10.1108/S1474-7979(2009)0000020014.
[17] Fornell, Claes; LARCKER, David F. Evaluating Structural Equation Models with Unobservable Variables and Measurement Error. **Journal of Marketing Research**, *[S. l.]*, v. 18, n. 1, p. 39, 1981. ISSN: 00222437. DOI: 10.2307/3151312.
[18] Chin, Wynne W.; Newsted, Peter. Structural equation modeling analysis with small samples using partial least squares. *In*: **Statistical strategies for small sample research**. Thousand Oaks: CA: Sage Publications, 1999. p. 307–341.
[19] Henseler, Jörg; Ringle, Christian M.; Sinkovics, Rudolf R. The use of partial least squares path modeling in international marketing. *In*: **New Challenges to International Marketing (Advances in International Marketing)**. [s.l.: s.n.]. p. 277–319. DOI: 10.1108/S1474-7979(2009)0000020014.
[20] Hair, Joe F.; Sarstedt, Marko; Hopkins, Lucas; Kuppelwieser, Volker G. Partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM): An emerging tool in business research. **European Business Review**, *[S. l.]*, v. 26, n. 2, p. 106–121, 2014. ISSN: 0955534X. DOI: 10.1108/EBR-10-2013-0128.
[21] Hair, Joseph F.; Hult, G. Tomas M.; Ringle, Christian M.; Sarstedt, Marko; Thiele, Kai Oliver. Mirror, mirror on the wall: a comparative evaluation of composite-based structural equation modeling methods. **Journal of the Academy of Marketing Science**, *[S. l.]*, v. 45, n. 5, p. 616–632, 2017. ISSN: 00920703. DOI: 10.1007/s11747-017-0517-x.
[22] Tang, Dan; Liu, Kongling. Exploring the Application of BIM Technology in the Whole Process of Construction Cost Management with Computational Intelligence. *[S. l.]*, v. 2022, 2022.
[23] Abdelaal, Fatma; GUO, Brian H. W. Stakeholders' perspectives on BIM and LCA

for green buildings. **Journal of Building Engineering**, *[S. l.]*, v. 48, p. 103931, 2022. ISSN: 23527102. DOI: 10.1016/j.jobe.2021.103931.
[24] Rasoolimanesh, S. Mostafa; Wang, Mingzhuo; Roldán, José L.; Kunasekaran, Puvaneswaran. Are we in right path for mediation analysis? Reviewing the literature and proposing robust guidelines. **Journal of Hospitality and Tourism Management**, *[S. l.]*, v. 48, p.

Apêndice A: Operacionalização dos Construtos

Variável Latente	Código	Variável Manifesta	Fonte
Fatores de Sucesso para BIM	BIM1	Nível de experiência dentro da empresa	Olawumi e Chan [11]
	BIM2	Clareza nos requisitos	
	BIM3	Compatibilidade de dados	
	BIM4	Disponibilidade de um banco de dados de informações sobre projetos semelhantes	
	BIM5	Cultura organizacional de apoio	
	BIM6	Estabelecimento de um modelo de boas práticas para BIM	
	BIM7	Custos	
	BIM8	Compartilhamento de conhecimento	
	BIM9	Desenvolvimento de um marco legal apropriado para o uso do BIM	
	BIM10	Riscos compartilhados	
	BIM11	Complexidade do projeto	
	BIM12	Disponibilidade de tecnologia baseada em nuvem	
	BIM13	Programas de treinamento em BIM	
	BIM14	Segurança da propriedade intelectual	
	BIM15	Normas internas para uso do BIM	
	BIM16	Padronização do BIM	
	BIM17	Suporte técnico	
	BIM18	Disponibilidade de bancos de dados BIM	
	BIM19	Desenvolvimento de software de código aberto	
	BIM20	Atualizações regulares	
Influência dos Stakeholders	SI1	Número de subcontratados	Olawumi e Chan [11]
	SI2	Maior envolvimento das partes interessadas do projeto	
	SI3	Colaboração eficaz entre os participantes do projeto	
	SI4	Nível de satisfação do cliente em projetos BIM	
	SI5	Envolvimento precoce das equipes de projeto	
	SI6	Aumento da pesquisa na indústria e na academia	
	SI7	Competência técnica do pessoal	
	SI8	Incentivo governamental	
	SI9	Legislação governamental	
	SI10	Requisito do cliente	

Continua...

Dimensão Econômica da Sustentabilidade	EconD1	Performance econômica	Martens e Carvalho [6]
	EconD2	Benefícios financeiros de práticas ambientais	
	EconD3	Gestão de custos	
	EconD4	Gestão de relacionamento com o cliente	
	EconD5	Envolvimento das partes interessadas	
	EconD6	Ética de negócios	
	EconD7	Gestão da inovação	
	EconD8	Gestão da cultura organizacional	
Dimensão Ambiental da Sustentabilidade	EnvironD1	Recursos naturais	Martens e Carvalho [6]
	EnvironD2	Água (consumo e utilização)	
	EnvironD3	Energia (geração, utilização, distribuição e transmissão, aquecimento global)	
	EnvironD4	Ar (qualidade, pegada ambiental)	
	EnvironD5	Ecoeficiência	
	EnvironD6	Gestão de impactos ambientais	
	EnvironD7	Gestão da política ambiental	
	EnvironD8	Responsabilidade ambiental	
Dimensão Social da Sustentabilidade	SocialD1	Gestão de práticas trabalhistas	Martens e Carvalho [6]
	SocialD2	Relacionamentos com a comunidade local	
	SocialD3	Gestão dos direitos humanos	
	SocialD4	Envolvimento das partes interessadas	
	SocialD5	Relações com a sociedade	
	SocialD6	Responsabilidade com produtos e serviços	
	SocialD7	Relacionamento com fornecedores e empreiteiros	

Questionário Aplicado

1. Caracterização demográfica

1.1 Qual é o seu nível de escolaridade?
( ) Graduação
( ) Pós-graduação (lato sensu) ou MBA
( ) Mestrado
( ) Doutorado (PhD)
( ) Pós-doutorado
( ) Não possuo formação ainda*

1.2. Você trabalha há mais de dois anos com projetos sustentáveis com o uso de BIM?
( ) Sim
( ) Não*

1.3 A tecnologia aplicada no desenvolvimento de projetos BIM normalmente é
( ) Baixo (Sem nova tecnologia)
( ) Médio (Alguma tecnologia nova)
( ) Alta tecnologia (todas ou quase todas as tecnologias novas, mas existentes)

1.4 A aplicação do BIM tem como objetivo:
( ) Operacional (Ampliação da atuação da empresa em projetos existentes)
( ) Estratégico (Criação de um novo nicho de mercado)
( ) Para resolução de problemas
( ) Manutenção (manutenção de rotina, solução de problemas regular)
( ) Utilidade (implementação de novos métodos ou novos processos, reorganização, reengenharia)
( ) Pesquisa e Desenvolvimento (Estudo – exploração de ideias futuras)

1.5 Em que tipo de projeto você trabalha predominantemente?
( ) Infraestrutura urbana (pontes, viadutos, pavimentação, contenção de taludes, redes de abastecimento de água e esgoto)
( ) Edificações unifamiliares (arquitetônicos e complementares)
( ) Edificações Multifamiliares (arquitetônicos e complementares)
( ) Projeto estrutural
( ) Logística e transporte
( ) Ainda não trabalho com projetos em BIM ou projetos sustentáveis

1.6 Há quanto tempo você trabalha com projetos BIM?

1.7 Em qual país, região e estado você opera/trabalha?

1.8 Na organização que você trabalha, o envolvimento das partes interessadas é

( ) Alto
( ) Médio
( ) Baixo

2. A implementação do BIM em projetos sustentáveis é influenciada por
(Avalie os seguintes fatores em uma escala de 1 a 7, sendo 1 discordo totalmente e 7 concordo totalmente).

	1	2	3	4	5	6	7
Nível de experiência dentro da empresa	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
Clareza nos requisitos	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
Compatibilidade de dados	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
Disponibilidade de um banco de dados de informações sobre projetos semelhantes	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
Cultura organizacional de apoio	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
Estabelecimento de um modelo de boas práticas para BIM	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
Custos	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
Compartilhamento de conhecimento	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
Desenvolvimento de um marco legal apropriado para o uso do BIM	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
Riscos compartilhados	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
Complexidade do projeto	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
Disponibilidade de tecnologia baseada em nuvem	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
Programas de treinamento em BIM	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
Segurança da propriedade intelectual	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
Normas internas para uso do BIM	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
Padronização do BIM	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
Suporte técnico	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
Disponibilidade de bancos de dados BIM	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
Desenvolvimento de software de código aberto	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
Atualizações regulares	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )

3. A implementação do BIM é influenciada pela
(Avalie os seguintes fatores em uma escala de 1 a 7, sendo 1 discordo totalmente e 7 concordo totalmente).

Número de subcontratados	1	2	3	4	5	6	7
Maior envolvimento das partes interessadas do projeto	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
Colaboração eficaz entre os participantes do projeto	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
Nível de satisfação do cliente em projetos BIM	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
Envolvimento precoce das equipes de projeto	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
Aumento da pesquisa na indústria e na academia	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
Competência técnica do pessoal	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
Incentivo governamental	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
Legislação governamental	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
Requisito do cliente	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
Número de subcontratados	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )

4. Dimensão da Sustentabilidade
(Avalie os seguintes fatores em uma escala de 1 a 7, sendo 1 discordo totalmente e 7 concordo totalmente).

4.1 No que diz respeito à dimensão econômica da sustentabilidade, a implementação do BIM melhora

Performance econômica	1	2	3	4	5	6	7
Benefícios financeiros de práticas ambientais	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
Gestão de custos	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
Gestão de relacionamento com o cliente	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
Envolvimento das partes interessadas	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
Ética de negócios	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
Gestão da inovação	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
Gestão da cultura organizacional	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )

4.2 No que diz respeito à dimensão ambiental da sustentabilidade, a implementação do BIM melhora a

Recursos naturais	1	2	3	4	5	6	7
Água (consumo e utilização)	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
Energia (geração, utilização, distribuição e transmissão, aquecimento global)	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
Ar (qualidade, pegada ambiental)	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
Ecoeficiência	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
Gestão de impactos ambientais	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
Gestão da política ambiental	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
Responsabilidade ambiental	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )

4.3 No que diz respeito à dimensão social da sustentabilidade, a implementação do BIM melhora a

Gestão de práticas trabalhistas	1	2	3	4	5	6	7
Relacionamentos com a comunidade local	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
Gestão dos direitos humanos	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
Envolvimento das partes interessadas	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
Relações com a sociedade	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
Responsabilidade com produtos e serviços	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
Relacionamento com fornecedores e empreiteiros	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )

Agradecemos sua participação. Se necessário, utilize o espaço abaixo para comentários, sugestões ou qualquer informação que julgar necessária.

Ficamos felizes com seu interesse em participar da pesquisa. Obrigado!