



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO ENGENHARIA CIVIL

Gabrielle Silva Soares

**Desafios para a adoção da Indústria 4.0 na Construção: Uma Revisão Sistemática de
literatura e Análise PESTEL**

Florianópolis

2024

Gabrielle Silva Soares

Desafios para a adoção da Indústria 4.0 na Construção: Uma Revisão Sistemática de literatura e Análise PESTEL

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de Engenharia Civil do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharela em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Juan José Oviedo Haito

Florianópolis

2024

Soares, Gabrielle Silva

Desafios para a adoção da Indústria 4.0 na Construção:
Uma Revisão Sistemática de literatura e Análise PESTEL /
Gabrielle Silva Soares ; orientador, Ricardo Juan José
Oviedo-Haito, 2024.

74 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro
Tecnológico, Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis,
2024.

Inclui referências.

1. Engenharia Civil. 2. Construção 4.0. 3. Desafios. 4.
Soluções. 5. Transformação digital. I. Oviedo-Haito,
Ricardo Juan José. II. Universidade Federal de Santa
Catarina. Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

Gabrielle Silva Soares

**Desafios para a adoção da Indústria 4.0 na Construção: Uma Revisão Sistemática de literatura e
Análise PESTEL**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de Engenheira Civil e aprovado em sua forma final pelo Curso Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 19 de junho de 2024.

Banca examinadora

Prof. Ricardo Juan José Oviedo Haito, Dr.

Orientador

Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Eduardo Lobo, Dr.

Avaliador

Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Francisco Ferreira Cardoso, Dr.

Avaliador

Universidade de São Paulo

Engenheiro Rafael Fernandes de Matos, Msc.

Avaliador

Verum Partners

Engenheiro Murilo Blanco Mello

Avaliador

Brasil ao Cubo

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha profunda gratidão a todos que contribuíram para a realização deste trabalho de conclusão de curso.

Primeiramente, agradeço a Deus, por me guiar e dar forças em todos os momentos. Aos meus pais, Jaqueline e Emerson, pelo amor, encorajamento e por todos os investimentos ao longo da minha vida. Vocês são a base de todas as minhas conquistas.

Agradeço à minha irmã, Beatriz, por deixar esse processo mais leve e divertido, por seu carinho e por estar sempre ao meu lado. Você deixou tudo mais especial.

Aos meus avós, por todo o amor, sabedoria e suporte ao longo da minha jornada acadêmica. Suas palavras de incentivo foram fundamentais.

Ao meu namorado e companheiro de vida, Nelson Eduardo, agradeço pela paciência, compreensão e pelo apoio incondicional durante os momentos de desafio. Sua presença ao meu lado tornou essa jornada mais tranquila e repleta de amor.

Ao meu grupo de amigas, Isadora, Luiza, Maria Eduarda e Eduarda, que estão comigo desde o ensino fundamental, agradeço pelo companheirismo e apoio inestimável durante todos esses anos.

Ao meu Sexteto do ensino médio e técnico, sou grata pelas memórias alegres compartilhadas em nossos encontros. Especialmente, à minha amiga Marina, agradeço pelas longas horas de conversas reconfortantes e pelas palavras de incentivo.

Também agradeço ao meu grupo de amigas da faculdade, Elisa, Raquel, Maria Eduarda e Letícia, por deixarem a rotina, que muitas vezes foi desgastante, repleta de bom humor e mais leve. Em especial, à minha amiga Tamara, agradeço por ser minha dupla e parceira ao longo desse período, pelas risadas, companheirismo e pelo apoio mútuo.

Agradeço a todos os docentes que passaram pela minha vida acadêmica, pelos ensinamentos e incentivos. Em especial, ao meu professor e orientador, Ricardo, por sua orientação, paciência e dedicação. Por me escolher como sua aluna de Iniciação Científica e por seus conselhos valiosos.

A todos vocês, meu sincero e profundo agradecimento. Este trabalho é resultado do apoio e incentivo que recebi de cada um de vocês. Muito obrigada!

RESUMO

Uma alternativa para superar as dificuldades do setor da construção e melhorar seu desempenho é a adoção de soluções relacionadas à Indústria 4.0, também conhecida como Construção 4.0 ou transformação digital na construção civil. Apesar dos benefícios associados a essa abordagem, como redução de custos, diminuição de prazos e aumento da qualidade, a adoção dessas soluções pelas empresas do setor ainda é limitada. Nesse contexto, é importante entender os motivos pelos quais os benefícios da Construção 4.0 ainda não foram plenamente incorporados ao setor. Portanto, o objetivo deste trabalho é identificar os desafios e possíveis soluções para a adoção de práticas e tecnologias relacionadas à Construção 4.0, com foco na transformação digital. Por meio de uma revisão sistemática da literatura, foram identificadas dez categorias de desafios e soluções: Capacidade das tecnologias, Cultura organizacional, Padronização, Integração entre tecnologias, Investimento financeiro, Obsolescência, Qualificação profissional, Cibersegurança e Privacidade, Legislação e regulamentação e Políticas Públicas e Setoriais. Além disso, foi realizada uma análise PESTEL (Político, Econômico, Social, Tecnológico, Ambiental e Legal) dessas categorias para relacionar os macrofatores que influenciam cada uma delas. Também foram identificadas e analisadas as subcategorias, a fim de fornecer uma visão abrangente dos fatores internos e externos que influenciam estas classificações. Como resultado, este trabalho oferece uma contribuição para o entendimento dos aspectos que devem ser considerados ao decidir pela incorporação das tecnologias e práticas da Indústria 4.0 na construção. Essa análise pode servir como um guia para orientar a tomada de decisões estratégicas nas empresas do setor, facilitando a transição para uma era de construção mais eficiente e sustentável.

Palavras-chave: Construção 4.0; Desafios; Soluções; Transformação digital.

ABSTRACT

One alternative to overcoming the challenges in the construction sector and improving its performance is the adoption of Industry 4.0 solutions, also known as Construction 4.0 or digital transformation in the construction industry. Despite the benefits associated with this approach, such as cost reduction, shorter project timelines, and improved quality, the adoption of these solutions by companies in the sector remains limited. In this context, it is important to understand the reasons why the benefits of Construction 4.0 have not yet been fully incorporated into the sector. Therefore, the objective of this work is to identify the challenges and possible solutions for adopting practices and technologies related to Construction 4.0, with a focus on digital transformation. Through a systematic literature review, ten categories of challenges were identified: Capacity of technologies, Organizational culture, Standardization, Integration between technologies, Financial investment, Obsolescence, Professional qualification, Cybersecurity and Privacy, Legislation and regulation and Public Policies. Additionally, a PESTEL (Political, Economic, Social, Technological, Environmental, and Legal) analysis of these categories was conducted to relate the macro factors influencing each of them. Subcategories were also identified and analyzed to provide a comprehensive view of the internal and external factors that influence these classifications. As a result, this work contributes to the understanding of the aspects that should be considered when deciding to incorporate Industry 4.0 technologies and practices in construction. This detailed analysis can serve as a guide to inform strategic decision-making in companies within the sector, facilitating the transition to a more efficient and sustainable construction era.

Keywords: Construction 4.0; Challenges; Solutions; Digital Transformation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Metodologia da pesquisa.....	21
Figura 2 - Análise VOSViewer.....	24
Figura 3 - Gráfico Documentos x Base de dados.....	26
Figura 4 - Gráfico Documentos x Anos.....	27
Figura 5 - Cenários “a” e “b”.....	43
Figura 6 - Principais aspectos vinculados com os desafios e soluções para a adoção de tecnologias da Construção 4.0.....	48

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Matriz autores x Etapas da Revisão Sistemática.....	19
Quadro 2 - Exemplo de extração dos trechos.....	28
Quadro 3 - Exemplo de agrupamento e categorização dos trechos.....	29
Quadro 4 - Exemplo da Análise PESTEL.....	33
Quadro 5 - Resumo das categorias e seus exemplos.....	34
Quadro 6 - Seis aspectos de PESTEL.....	49
Quadro 7 - Desafios por PESTEL.....	50
Quadro 8 - Soluções por PESTEL.....	51
Quadro 9 - Relação subcategorias com fatores da literatura especializada.....	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Critérios de exclusão.....	25
Tabela 2 - Relação documentos x continente.....	27
Tabela 3 - Categorias x Barreiras x Soluções.....	30
Tabela 4 - Matriz Autor x Categorias.....	31

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
1.1 OBJETIVOS.....	18
1.1.1 Objetivos gerais.....	18
1.1.2 Objetivos específicos.....	18
1.2 LIMITAÇÕES DA PESQUISA.....	18
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	18
2. METODOLOGIA.....	19
2.1 ETAPAS DA METODOLOGIA.....	20
2.1.1 Planejamento.....	22
2.1.1.1 Definição da pergunta de pesquisa.....	22
2.1.1.2 Escolhas das bases de dados.....	22
2.1.2 Triagem.....	22
2.1.2.1 Strings de busca.....	22
2.1.2.2 Critérios de exclusão.....	25
2.1.3 Seleção.....	28
2.1.3.1 Identificação e seleção de trechos.....	28
2.1.4 Análise.....	28
2.1.4.1 Agrupamento e categorização dos trechos.....	28
2.1.4.2 Análise PESTEL.....	33
2.1.5 Produção.....	33
2.1.5.1 Redação e criação.....	33
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
3.1 CATEGORIAS.....	34
3.1.1 Capacidade das tecnologias.....	36
3.1.2 Cultura organizacional.....	37
3.1.3 Padronização.....	38
3.1.4 Integração entre tecnologias.....	39
3.1.5 Investimento financeiro.....	40

3.1.6 Obsolescência.....	41
3.1.7 Qualificação profissional.....	42
3.1.8 Cibersegurança e privacidade.....	44
3.1.9 Legislação e regulamentação.....	45
3.1.10 Políticas públicas e Setoriais.....	46
3.2 SUBCATEGORIAS.....	47
3.3 ANÁLISE PESTEL.....	49
3.4 SÍNTESE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	53
4. CONCLUSÃO.....	58
REFERÊNCIAS.....	60
APÊNDICE A - EXTRATO DA PLANILHA DE DADOS.....	71

1. INTRODUÇÃO

Em relação à economia mundial, a indústria da construção não apenas representa 14% do Produto Interno Bruto (PIB) global, mas também impulsiona o crescimento econômico mais amplo e gera empregos (Arora *et al.*, 2020), sendo uma importante força de trabalho (Hossain; Nadeem, 2019). Além disso, essa indústria gera um grande impacto ambiental, sendo responsável por quase metade do consumo de energia e matérias-primas globais (Labaran *et al.*, 2022). No Brasil, em 2022, esse setor correspondeu a 6,2% do PIB (Abramat, 2023) e empregou diretamente quase sete milhões e meio de trabalhadores em 2021 (Abramat, 2022).

De acordo com o IBGE (2024), as empresas da indústria da construção podem ser caracterizadas pela sua atuação no setor da construção civil, envolvendo a execução de obras, reformas, ampliações, recuperações, demolições, entre outras atividades relacionadas à edificação ou infraestrutura. Essas empresas são responsáveis por planejar, coordenar e executar as obras, bem como gerenciar os recursos humanos, materiais e financeiros necessários para a realização dos projetos de construção. Nesse sentido, diversos agentes influenciam as empresas das indústrias do setor da construção, incluindo entidades governamentais, fabricantes e fornecedores de materiais, engenheiros, arquitetos, entre outros (Sears; Clough; Sears, 2008).

Adicionalmente, as empresas do setor da construção estão envolvidas em um ecossistema complexo, envolvendo uma série de fatores internos e externos que influenciam suas operações e decisões (Rowlinson, 2007). Internamente, há fatores como estrutura e cultura organizacional, recursos humanos qualificados, gestão financeira eficaz e capacidade de inovação, dentre outros, que influenciam diretamente a capacidade das empresas de alcançar seus objetivos e se adaptar às mudanças do mercado (Jiang *et al.*, 2018; Lu, 2010; Madigan, 1997; Sha; Yang; Song, 2008; Turkyilmaz *et al.*, 2019; Zavadskas; Turskis; Tamosaitiene, 2011). Por outro lado, fatores externos, como condições econômicas globais, regulamentações governamentais, concorrência no mercado, tendências sociais, disponibilidade de mão de obra e materiais, dentre outros, moldam o ambiente em que as empresas operam e podem criar ameaças ou oportunidades (Gao; Low, 2014; Lu, 2010; Rowlinson, 2007; Tang; Atkinson; Zou, 2012; Zavadskas; Turskis; Tamosaitiene, 2011; Zeng; Chen; Tam, 2005; Zhang *et al.*, 2021).

Embora a indústria da construção tenha uma longa história que se entrelaça com a evolução da humanidade, sua eficiência tem sido progressivamente comprometida pela

persistência no uso de métodos tradicionais e pela ausência de adoção de tecnologias e abordagens inovadoras (Nagy; Papp; Szabó, 2021). Além disso, ainda encontra dificuldades em cumprir prazos e orçamentos (Oti-Sarpong *et al.*, 2021) e é caracterizada por uma baixa taxa de produção e automação mínima (Hossain; Nadeem, 2019). Nesse contexto, a industrialização se apresenta como uma alternativa para modificar essa realidade, a mesma pode ser entendida como o aumento do grau da organização da produção (Sabbatini, 1989). Portanto, a construção pode ser industrializada por meio de uma organização e padronização aprimoradas das atividades e do uso de equipamentos que possibilitam uma maior automatização na produção (Gerhard, 2005). Assim, a industrialização traz benefícios como o aumento da sustentabilidade, melhor coordenação das atividades, controle aprimorado do processo de fabricação, maior nível de automação, redução dos custos associados ao transporte de trabalhadores e equipamentos, além da diminuição dos desperdícios na construção (Zimmermann, 2022).

Nesse sentido, ao longo dos anos, o mundo testemunhou importantes revoluções industriais. A transição do trabalho manual para a mecanização foi o marco distintivo da Primeira Revolução Industrial, que foi impulsionada pela energia a vapor e a água (Lau *et al.*, 2019). A Segunda Revolução Industrial, por sua vez, foi impulsionada pela produção em massa, viabilizada pela eletricidade. Essa produção em grande escala influenciou na integração da tecnologia da informação e dos computadores, ocasionando a Terceira Revolução Industrial (Klinc; Turk, 2019; Lau *et al.*, 2019). Em suma, as três primeiras revoluções industriais surgiram da mecanização e evoluíram posteriormente com a introdução da produção digital e automatizada (Lau *et al.*, 2019). Desse modo, a Quarta Revolução Industrial, também chamada de Indústria 4.0, está em curso.

A Indústria 4.0 é caracterizada pela digitalização e servitização (Oviedo-Haito; Moratti; Cardoso, 2019). O conceito de digitalização, pode ser definido como a conversão de informações analógicas em qualquer formato digital (Zimmermann, 2022), ou seja, a Indústria 4.0 trabalha com a cópia digital do mundo real (Klinc; Turk, 2019). Assim, máquinas e sistemas têm a capacidade de aprender, comunicar e aprimorar-se a partir de experiências prévias (Lau *et al.*, 2019). Já a servitização, é a integração dos serviços aos produtos (Santos; Paladini; Jungles, 2014), correspondendo à evolução de serviços com baixa digitalização (serviços manuais) para serviços altamente integrados (Betiatto, 2021; Frank *et al.*, 2019).

Alguns autores denominam esse contexto como “transformação digital” (Olanipekun; Sutrisna, 2021; Rêgo *et al.*, 2022; Schnasse; Menzefricke; Dumitrescu, 2021). Esse termo

refere-se ao processo de adoção de tecnologias digitais em uma organização ou setor, visando aprimorar a eficiência, a produtividade e a capacidade de inovação. Desse modo, ocorre a digitalização de processos, a implementação de novas tecnologias e a reestruturação organizacional para maximizar os benefícios da digitalização (Dolla; Jain; Delhi, 2023). Conforme Gerbert *et al.*, (2016), considera-se que na próxima década (2020-2030) a digitalização em grande escala levará a economias globais anuais de US\$0,7 trilhões a US\$1,2 trilhões. Além disso, haverá um impulso de produtividade de 5 a 10 vezes considerando a construção tradicional atual (Arora *et al.*, 2020) e redução dos custos e desvios de prazos em cerca de 10 a 20% (Álvarez; De Reyna, 2020).

Neste sentido, tecnologias associadas à Indústria 4.0 incluem: *Building Information Modeling (BIM)*, *Augmented Reality*, *Blockchain*, *Digital Twin*, *Artificial Intelligence*, *Global Navigation Satellite System (GNSS)*, *Unmanned Land Vehicle (ULV)*, *Additive Manufacturing*, *Drone*, *Internet of the Things (IoT)*, *5G/6G*, *Edge Computing*, *Sensors*, *Cloud Computing*, *Radio Frequency Identification (RFID)*, *Quantum computing*, *Geographic Information System (GIS)*, *Big Data*, *Advances robotics (RPA)*, *Laser Scanning*, *Mixed Reality*, *Virtual Reality*, *Augement reality*, *3D printing*, *Web Service*, dentre outras (Betiatto, 2021; Dallasega; Rauch; Linder, 2018; Hawerth, 2022; Marques, 2023; Oesterreich; Teuteberg, 2016; Sawhney; Riley; Irizarry, 2020).

As aplicações dos novos conceitos relacionados à Indústria 4.0 podem ser incorporadas à construção, denominando-se Construção 4.0 (Hossain; Nadeem, 2019). A Construção 4.0, além dos conceitos de digitalização e servitização da Indústria 4.0, ainda engloba o conceito de construção fora do canteiro ou *offsite construction* (Craveiro *et al.*, 2019; Forcael *et al.*, 2020; Sawhney; Riley; Irizarry, 2020; Zimmermann, 2022).

Portanto, a Construção 4.0 tem duas propostas. A primeira é a de digitalizar os processos e serviços da construção civil, transformando-os em sistemas inteligentes e autônomos, promovendo, assim, um avanço significativo na industrialização das operações do setor (Sawhney; Riley; Irizarry, 2020). Desse modo, a Construção 4.0 traz consigo uma série de benefícios, incluindo aprimoramento da qualidade do produto, redução do tempo de comercialização, encurtamento do prazo de execução da obra, realização da construção dentro ou abaixo do orçamento previsto (Betiatto, 2021; Dallasega; Rauch; Linder, 2018; Oesterreich; Teuteberg, 2016), redução de ineficiências, diminuição de desperdícios, melhoria da imagem da indústria (Sawhney; Riley; Irizarry, 2020), integração horizontal, longitudinal e vertical, redução da mão de obra, maior flexibilidade, melhor compartilhamento e coleta de

informações, além de trazer inovação, maior lucratividade, eficiência organizacional e vantagem competitiva estratégica (Zimmermann, 2022).

A segunda proposta é a de incorporar os benefícios da construção fora do canteiro/*offsite*. O termo construção *offsite* refere-se ao processo de manufatura e pré-montagem de elementos, componentes ou módulos, que antecede sua instalação final no canteiro (Kamali; Hewage, 2016). Assim, o nível de industrialização da produção aumenta proporcionalmente à quantidade de atividades realizadas fora do canteiro de obras (Baú, 2021). Diante disso, a literatura aborda os desafios da sua aplicação, vinculados a aspectos tais como cumprimento de regulamentações locais e padrões de construção, superação da resistência à mudança e cultura organizacional, desafios financeiros e de investimento, problemas de padronização (Álvarez; De Reyna, 2020; Bertram *et al.*, 2019; Carson, 2020; Kordestani Ghalehnoei *et al.*, 2022; Ribeirinho *et al.*, 2020; Robinson; Leonard; Whittington, 2021), requisitos de transporte e acesso ao canteiro de obras, adequação às máquinas necessárias para montagem, exigência de projetos mais detalhados, coordenação intensificada em todas as etapas e programação precisa de entrega e instalação (Abdul Nabi; El-adaway, 2020; Baú, 2021). Conforme esses autores, apesar dos desafios elencados, a segunda proposta está sendo amplamente adotada, já que empresas de construção e proprietários estão cada vez mais interessados nas melhorias da qualidade dos serviços (Vuuren; Middleton, 2020) e da diminuição de até 30% nos custos, viabilizadas pela construção fora do canteiro, com 26% dos executivos planejando aumentar o uso desses produtos nos próximos anos (Meisels *et al.*, 2021).

Em oposição, embora a adoção de tecnologias associadas à Indústria 4.0 apresente expressivos benefícios potenciais para o setor da construção, poucas empresas as integram efetivamente (Betiatto, 2021). A introdução dessas tecnologias representa um desafio significativo para esse setor, visto que apenas 6% das empresas de construção em 2019 efetivamente adotaram essas inovações (Nagy; Papp; Szabó, 2021). Diante disso, surge a necessidade de responder a pergunta: quais os desafios e soluções para a adoção da Construção 4.0? Portanto, este estudo busca entender os obstáculos para essa adoção, com ênfase na transformação digital, ou seja, na primeira proposta da Construção 4.0. Ademais, a pesquisa utiliza uma revisão sistemática da literatura, combinada com uma análise PESTEL, para identificar os desafios enfrentados pelas empresas do setor nessa adoção.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivos gerais

Este trabalho tem como objetivo principal identificar os desafios para a adoção das tecnologias e práticas da Construção 4.0, limitadas aos aspectos mais próximos da Indústria 4.0, vinculados à transformação digital.

1.1.2 Objetivos específicos

- Categorizar os desafios e soluções da adoção das tecnologias da Construção 4.0 conforme Revisão Sistemática da Literatura;
- Identificar as subcategorias presentes em cada categoria;
- Realizar uma análise PESTEL para as categorias encontradas.

1.2 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

Este estudo foi realizado através de uma Revisão Sistemática da Literatura, e os resultados obtidos basearam-se na análise de diversos documentos encontrados por esse método. Além disso, a pesquisa se concentrou nas tecnologias e práticas relacionadas à Indústria 4.0. Ou seja, embora esteja aplicada ao setor da construção, não abordou os desafios associados à construção fora do canteiro/*offsite*.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho foi estruturado em quatro capítulos. O Capítulo 1 abordou a Introdução, onde foi feita a contextualização do setor da construção, a discussão dos conceitos da Construção 4.0, os fatores internos e externos que afetaram as empresas do setor, bem como os benefícios potenciais da incorporação das tecnologias e práticas da Indústria 4.0 ao setor, ou Construção 4.0, com ênfase na chamada transformação digital. Além disso, apresentou-se as limitações da pesquisa, os objetivos gerais e específicos do trabalho e a descrição da sua estrutura.

O Capítulo 2 descreveu a Metodologia desenvolvida, que consistiu em uma Revisão Sistemática de Literatura combinada com uma Análise PESTEL. Dada a natureza dessa metodologia, a Revisão e a Análise foi um resultado. Assim, os resultados obtidos foram detalhados no Capítulo 3, contendo as categorias dos desafios e possíveis soluções para a

adoção das tecnologias vinculadas com a Construção 4.0, assim como as subcategorias e a realização da análise PESTEL. Adicionalmente, esse Capítulo contém a síntese e a discussão do trabalho. Por fim, o Capítulo 4 traz as conclusões obtidas a partir das análises realizadas nos capítulos anteriores.

2. METODOLOGIA

A metodologia adotada para este estudo consiste em uma revisão sistemática da literatura, utilizada para identificar estudos relevantes sobre um tema específico, utilizando métodos sistemáticos e explícitos de busca. Além disso, ela permite avaliar a qualidade e validade desses estudos, facilitando a identificação das melhores evidências e sua posterior síntese (De-la-Torre-Ugarte-Guanilo; Takahashi; Bertolozzi, 2011).

As etapas dessa revisão foram estabelecidas com base nos procedimentos descritos por Bryman, 2012; Castagnoli *et al.*, 2022; Sampaio; Mancini, (2007). Dessa forma, as etapas citadas por cada autor, presentes no Quadro 1, serão as mesmas utilizadas na metodologia deste trabalho.

Quadro 1 - Matriz autores x Etapas da Revisão Sistemática

Principais etapas	Bryman (2012)	Castagnoli <i>et al.</i> (2022)	Sampaio; Mancini (2007)
Definição da pergunta inicial	x	x	x
Seleção de fontes/ base de dados	x	x	x
Criação da <i>string</i> de busca	x	x	x
Critérios de exclusão	x	x	x
Identificação e seleção de dados	x	x	x
Organização e agrupamento dos dados	x	x	x
Categorização	x	x	x
Redação	x	x	x

Fonte: a autora, a partir de Bryman, 2012; Castagnoli *et al.*, 2022; Sampaio; Mancini, 2007

Em adição à categorização relativa à Revisão Sistemática da Literatura (Quadro 1), os dados encontrados também foram classificados segundo uma análise PESTEL. Conforme

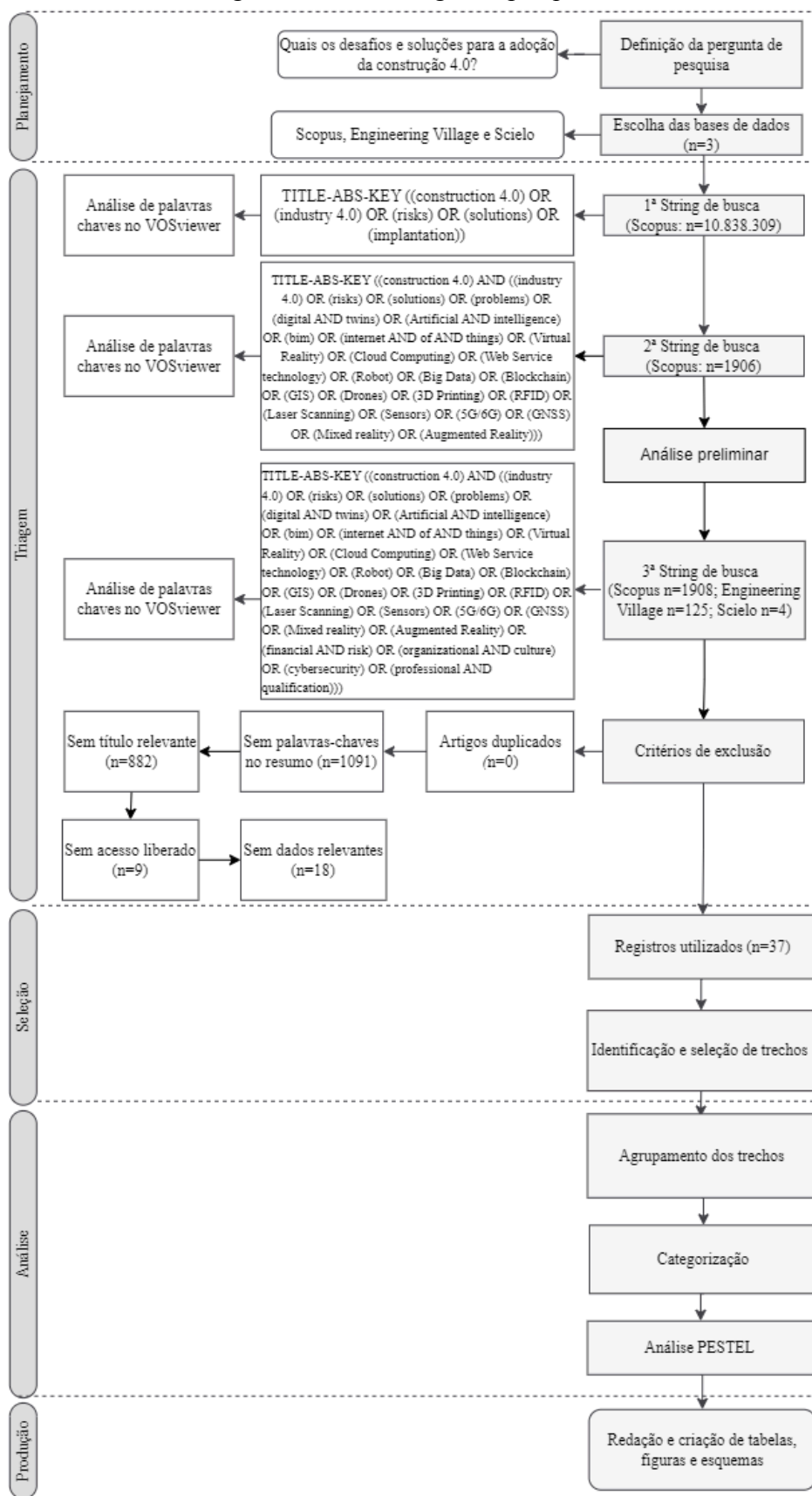
Turkyilmaz *et al.*, (2019), essa metodologia visa identificar e avaliar os fatores macroambientais críticos que podem afetar as condições de trabalho em uma indústria e desempenho das empresas que operam nesse setor. Assim, a análise pode ser empregada para a avaliação externa (por exemplo, em nível de país e setor) e organizacional (em nível de empresa). Essa análise considera seis aspectos: *Political* (Político), *Economic* (Econômico), *Social* (Social), *Technological* (Tecnológico), *Environmental* (Ambiental) e *Legal* (Legal) (Pan; Chen; Zhan, 2019).

As principais vantagens ao utilizar esse modelo incluem orientar a tomada de decisões estratégicas das empresas, mediante a identificação de benefícios competitivos em relação a outras modalidades, bem como evitar erros que possam prejudicar o desempenho das empresas ou das suas atividades (Vieitas, 2023).

2.1 ETAPAS DA METODOLOGIA

Dessa forma, unindo a Revisão Sistemática de Literatura com a Análise PESTEL, definiu-se a metodologia a ser seguida nesta pesquisa, apresentada na Figura 1.

Figura 1 - Metodologia da pesquisa



Fonte: a autora

A Figura 1 é composta por cinco fases representadas pelos elementos verticais à esquerda: Planejamento, Triagem, Seleção, Análise e Redação. Cada uma dessas fases é subdividida em doze passos principais, indicados por retângulos sequenciais.

2.1.1 Planejamento

2.1.1.1 Definição da pergunta de pesquisa

A definição da pergunta inicial da pesquisa foi orientada pela análise de artigos científicos recomendados pelo professor orientador. Esses documentos exploraram os conceitos e vantagens da Construção 4.0, ressaltando a disparidade entre esses benefícios teóricos e sua implementação prática nas empresas de construção. Isso levantou a questão de que, apesar dos benefícios da Construção 4.0 para o setor da construção, poucas tecnologias dessa vertente são eficazmente incorporadas pelas empresas (Betiatto, 2021).

Conseqüentemente, é crucial compreender por que as práticas e tecnologias da Construção 4.0 ainda não foram completamente integradas ao setor. Além disso, é igualmente importante identificar as soluções para esses desafios. Portanto, o objetivo dessa pesquisa é responder à pergunta: "Quais são os desafios e soluções para a adoção da construção 4.0?".

2.1.1.2 Escolhas das bases de dados

Para a escolha das bases de dados, levou-se em conta a facilidade de exportação dos dados das buscas para posterior manipulação e análise, bem como a qualidade dos artigos encontrados. Ademais, foram consideradas bases de dados cujos documentos estiverem com acesso gratuito ou concedido pelo domínio da Universidade Federal de Santa Catarina.

Outro ponto em questão é a quantidade de base de dados. Conforme Okoli; Schabram (2010), utilizar mais de uma base de busca é crucial em uma revisão sistemática para garantir uma cobertura ampla e confiável dos resultados. Dessa forma, as bases de dados escolhidas foram: Scopus, Engineering Village e Scielo.

2.1.2 Triagem

2.1.2.1 Strings de busca

Conforme Marques (2023), uma *string* de busca consiste em uma sequência de termos ou palavras-chave empregados para buscar informações em bases de dados ou outras fontes de informação. Essa sequência é elaborada para recuperar os resultados mais pertinentes e precisos relacionados à uma pergunta específica ou tópico de pesquisa.

Dessa forma, as *strings* de busca foram testadas com base na contribuição dos seus artigos resultantes para responder a pergunta de pesquisa. Para realizar esses testes, utilizou-se o *VOSViewer*, um *software* que mostra a relação entre as palavras-chave encontradas nos documentos resultantes da consulta. Assim, cada resultado de uma *string* de busca foi exportado para uma planilha eletrônica, importado para o *VOSViewer* e as palavras-chave que se repetiam pelo menos 20 vezes em cada documento foram verificadas, devido sua abrangência na pesquisa.

A primeira *string* de busca - *TITLE-ABS-KEY ((construction 4.0) OR (industry 4.0) OR (risks) OR (solutions) OR (implantation))* - foi aplicada na base de dados Scopus e tinha o intuito de ser mais genérica para o início dos testes. Além disso, foram utilizadas palavras-chave em inglês para o acesso aos estudos mais abrangentes e atualizados. Com essa *string*, os resultados teriam que pelo menos ter os termos “Construção 4.0”, “Indústria 4.0”, “riscos”, “soluções” e “implantação”. Assim, foram encontrados 10.838.309 (dez milhões, oitocentos e trinta e oito mil, trezentos e nove) resultados. Posteriormente, ao analisar esses resultados no *VOSViewer*, verificou-se que muitas das palavras-chave destacadas pelo *software* não tinham relação com a pergunta de pesquisa. Dessa forma, essa *string* foi descartada.

A segunda *string* de busca - *TITLE-ABS-KEY ((construction 4.0) AND ((industry 4.0) OR (risks) OR (solutions) OR (problems) OR (digital AND twins) OR (Artificial AND intelligence) OR (bim) OR (internet AND of AND things) OR (Virtual Reality) OR (Cloud Computing) OR (Web Service technology) OR (Robot) OR (Big Data) OR (Blockchain) OR (GIS) OR (Drones) OR (3D Printing) OR (RFID) OR (Laser Scanning) OR (Sensors) OR (5G/6G) OR (GNSS) OR (Mixed reality) OR (Augmented Reality)))* - teve o intuito de ser mais específica. Desse modo, além das palavras-chaves da primeira *string*, foram adicionadas tecnologias encontradas pela autora na leitura dos artigos iniciais que definiram o tema. Para essa *string* foram encontrados 1.906 (mil, novecentos e seis) resultados. Posteriormente, ao analisar esses resultados no *VOSViewer*, verificou-se que as palavras-chave encontradas pelo *software* tinham maior relação com a pergunta de pesquisa do que as da primeira *string* de busca. Dessa forma, essa *string* foi considerada.

Ainda com base nos resultados encontrados na segunda *string* de busca, realizou-se uma análise preliminar. Como resultado, identificaram-se possíveis categorias que abordavam a pergunta inicial, tais como *financial risk* (risco financeiro), *organizational culture* (cultura organizacional), *cybersecurity* (cibersegurança) e *professional qualification* (qualificação

Engineering Village e 4 (quatro) resultados na base de dados Scielo, totalizando 2.037 (dois mil, trinta e sete) documentos, que foram importados para o *software* de planilha eletrônica MS-Excel e passaram para a próxima etapa: critérios de exclusão.

2.1.2.2 Critérios de exclusão

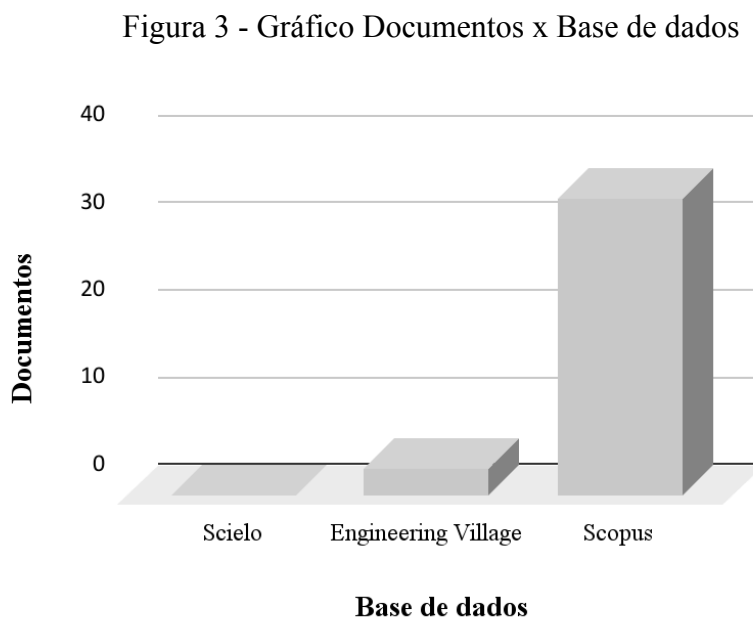
Com o objetivo de avançar para a próxima fase apenas com os documentos considerados relevantes para responder a pergunta inicial, estabeleceram-se critérios para filtrar os resultados obtidos nas etapas anteriores, conforme Tabela 1. É importante destacar que, devido à relativa novidade da Construção 4.0, a pesquisa não estabeleceu critérios de exclusão com relação ao intervalo temporal e foi conduzida em outubro de 2023.

Tabela 1 - Critérios de exclusão

Ordem	Critérios	Descrição	Documentos excluídos
1º	Artigos duplicados	Se houvesse artigos duplicados entre as bases de dados, eles seriam removidos.	0
2º	Sem palavras-chave no resumo	Após a análise realizada pelo <i>VOSViewer</i> , foram identificadas palavras-chave relevantes. Caso o resumo de um documento não contivesse pelo menos uma dessas palavras-chave, ele seria excluído.	1091
3º	Sem título relevante	Os títulos foram examinados individualmente para determinar sua relevância em relação ao tema. Os títulos considerados irrelevantes eram excluídos.	882
4º	Sem acesso liberado	Os documentos cujo acesso era restrito ou pago foram removidos da análise.	9
5º	Sem dados relevantes	Após a aplicação dos critérios anteriores, os artigos foram lidos na íntegra. Aqueles que não apresentavam dados relevantes para o tema foram excluídos.	18

Fonte: a autora

Portanto, selecionaram-se 37 (trinta e sete) documentos cujos dados foram identificados e utilizados nessa pesquisa, sendo 34 (trinta e quatro) artigos da base de dados Scopus e 3 (três) da base de dados Engineering Village, conforme Figura 3.



Fonte: a autora

Conforme parágrafo anterior, é possível notar que grande parte das publicações vieram da base de dados Scopus, enquanto poucas são da base Engineering Village e nenhuma da base Scielo, o que pode ser explicado considerando que a base de dados Scopus tem maior quantidade de documentos do que as outras duas bases:

- Scopus: 94 milhões de registros (Elsevier, 2024¹);
- Engineering village: 10,3 milhões de registros (Engineering Village, 2024²);
- Scielo: 1 milhão de registros (Scielo, 2024³).

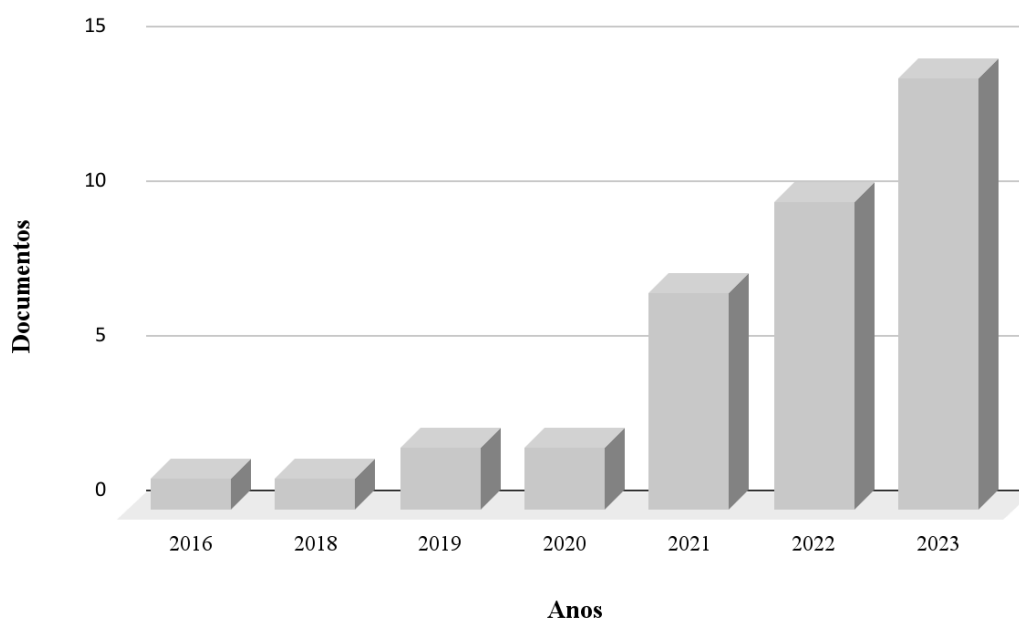
Além da Figura 3, com base nas informações obtidas desses documentos foi criada a Figura 4. Essa figura ilustra os anos de publicação dos resultados encontrados, mostrando o aumento constante de publicações sobre o tema ao longo dos anos, o que pode sugerir a crescente conscientização sobre os benefícios potenciais da Indústria 4.0 na indústria da construção.

¹ Fonte: https://www.elsevier.com/products/scopus?dgcid=RN_AGCM_Sourced_300005030.

² Fonte: <https://www.elsevier.com/products/engineering-village/databases/compendex>.

³ Fonte: https://images.webofknowledge.com/WOKRS519B3/help/pt_BR/SCIELO/hp_database.html#:~:text=Scientific%20Electronic%20Library%20On%2Dline,Brasil.

Figura 4 - Gráfico Documentos x Anos



Fonte: a autora

Ainda com base nas informações obtidas dos documentos, foi criada a Tabela 2, que relaciona a quantidade dos documentos encontrados com o continente no qual foi feita a amostragem dos resultados.

Tabela 2 - Relação documentos x continente

Continente	Quantidade de documentos
África	1
América	3
Antártica	0
Ásia	9
Europa	7
Oceania	2
Continente não identificado	15

Fonte: a autora

2.1.3 Seleção

2.1.3.1 Identificação e seleção de trechos

Os 37 documentos selecionados na etapa anterior foram lidos na íntegra. Assim, trechos que remeteram aos desafios da adoção da Construção 4.0 e suas possíveis soluções foram selecionados e armazenados na planilha eletrônica MS-Excel, com os seus autores, título do documento, página de extração, tradução, palavras-chaves e se eles caracterizavam-se como desafio ou solução para a adoção de tecnologias 4.0. O quadro 2 indica exemplos desse agrupamento e categorização retirados da planilha do Apêndice A. O Apêndice A deste trabalho contém o extrato da planilha elaborada nesse processo.

Quadro 2 - Exemplo de extração dos trechos

Trecho	Tradução	Palavras-chaves	Barreira/Solução	Autores	Artigo	Pág.
Industry 4.0 requires an understanding of analytical, programming, and technical knowledge	A Indústria 4.0 requer uma compreensão de conhecimento analítico, de programação e técnico	conhecimento analítico, de programação e técnico	Barreira	Singh <i>et al.</i> (2023)	Identification and severity assessment of challenges in the adoption of industry 4.0 in Indian construction industry	7
Thus, inadequate qualifications of the workforce is a barrier to I4.0 implementation	Assim, as qualificações inadequadas da força de trabalho são uma barreira à implementação da I4.0	qualificações inadequadas	Barreira	Tamvada <i>et al.</i> (2022)	Adopting new technology is a distant dream? The risks of implementing Industry 4.0 in emerging economy SMEs	8

Fonte: a autora

2.1.4 Análise

2.1.4.1 Agrupamento e categorização dos trechos

Após a seleção dos dados, identificaram-se trechos relacionados com diferentes objetos, como pessoas, empresas e governo. Em sequência, estes foram agrupados de acordo com seu grau de proximidade para uma posterior categorização. Consequentemente, uma nova coluna foi adicionada à planilha, indicando a categoria, definida pela autora, na qual cada trecho se enquadrava. O Quadro 3 indica exemplos desse agrupamento e categorização retirados da planilha do Apêndice A.

Quadro 3 - Exemplo de agrupamento e categorização dos trechos

Trecho	Tradução	Palavras-chaves	Categoria	Barreira/Solução	Autores	Artigo	Pág.
Industry 4.0 requires an understanding of analytical, programming, and technical knowledge	A Indústria 4.0 requer uma compreensão de conhecimento analítico, de programação e técnico	conhecimento analítico, de programação e técnico	Qualificação profissional	Barreira	Singh <i>et al.</i> (2023)	Identification and severity assessment of challenges in the adoption of industry 4.0 in Indian construction industry	7
Thus, inadequate qualifications of the workforce is a barrier to I4.0 implementation	Assim, as qualificações inadequadas da força de trabalho são uma barreira à implementação da I4.0	qualificações inadequadas	Qualificação profissional	Barreira	Tamvada <i>et al.</i> (2022)	Adopting new technology is a distant dream? The risks of implementing Industry 4.0 in emerging economy SMEs	8

Fonte: a autora

Dessa forma, foram estabelecidas dez categorias para a classificação dos trechos, são elas:

- Capacidade das tecnologias;
- Cultura organizacional;
- Padronização;
- Integração entre tecnologias;
- Investimento financeiro;
- Obsolescência;
- Qualificação profissional;
- Cibersegurança e Privacidade;
- Legislação e regulamentação;
- Políticas Públicas e Setoriais.

Assim, com as categorias acima foi possível a criação da Tabela 3 e 4.

Tabela 3 - Categorias x Barreiras x Soluções

CATEGORIAS	DESAFIOS	SOLUÇÕES	TRECHOS
Capacidade das tecnologias	32	4	36
Cultura organizacional	24	5	29
Padronização	11	3	14
Integração entre tecnologias	21	3	24
Investimento financeiro	31	1	32
Obsolescência	6	-	6
Qualificação profissional	28	7	35
Cibersegurança e privacidade	35	6	41
Legislação e regulamentação	11	2	13
Políticas públicas e setoriais	10	1	11

Fonte: a autora

A Tabela 3 relaciona as categorias identificadas com a quantidade de trechos extraídos que representam desafios ou soluções para a adoção das tecnologias da Indústria 4.0. Desse modo, as categorias com maior quantidade de trechos encontrados foram Cibersegurança e Privacidade, Capacidade das Tecnologias e Qualificação Profissional, enquanto Obsolescência e Políticas Públicas e Setoriais foram as categorias com menos trechos identificados.

Também observou-se que poucas soluções foram encontradas em relação aos desafios da adoção das tecnologias da Indústria 4.0. Isso sugere que a indústria da construção ainda tem um longo caminho a percorrer para aproveitar completamente o potencial das tecnologias associadas à Indústria 4.0.

Adicionalmente, a Tabela 4 apresenta a correlação entre as categorias identificadas e os autores dos trechos extraídos que se enquadram nessas categorias.

Tabela 4 - Matriz Autor x Categorias

Autores	Capacidade tecnologias	Cibersegurança	Cultura organizacional	Integração	Investimento financeiro	Legislação e regulamentação	Obsolescência	Padronização	Políticas Públicas	Qualificação profissional
Alarefi (2023)		x								
Almarri et al. (2023)	x	x		x	x		x			
Attaran; Celik (2023)	x	x		x	x			x		
Bazan; Estevez (2022)	x			x	x			x		
Custovi et al. (2023)	x			x	x	x			x	
Demirkesen; Tezel (2022)		x	x		x	x		x		x
Dinmohammadi (2023)	x		x		x	x			x	x
Elghaish et al. (2022)										x
Franco et al. (2022)	x									
García De Soto et al. (2022)		x								
Guo et al. (2023)	x	x								
Hayat; Reda (2022)										x
Jan et al. (2023)	x	x	x	x	x					x
Jesus; Lima (2022)										x
Kieseberg; Weippl (2018)		x								
Kozlovska et al. (2021)									x	
Maqbool et al. (2023)	x	x		x		x			x	
Maskuriy et al. (2019)							x			

Autores	Capacidade tecnologias	Cibersegurança	Cultura organizacional	Integração	Investimento financeiro	Legislação e regulamentação	Obsolescência	Padronização	Políticas Públicas	Qualificação profissional
Meneghello et al. (2019)	x	x								
Nagy et al. (2021)	x		x	x	x					x
Nigam; Talcott (2022)		x								
Oesterreich; Teuteberg (2016)	x	x	x	x	x	x		x		x
Omari et al. (2023)									x	
Omran et al. (2023)	x	x		x	x	x		x	x	
Pan; Zhang (2021)										x
Prabhakar et al. (2023)	x		x	x	x	x				x
Regona et al. (2022)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Schnasse et al. (2021)				x						x
Sharma et al. (2023)		x								
Singh et al. (2023)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Tamvada et al. (2022)	x	x	x	x	x		x			x
Teisserenc; Sepasgozar (2021)									x	
Trung et al. (2021)		x								
Turner et al. (2021)		x		x						
Wang et al. (2021)	x	x	x	x	x					x
Xie et al. (2019)										x
Zhdaneev et al. (2020)	x	x	x		x					

Fonte: a autora

2.1.4.2 Análise PESTEL

As categorias criadas na etapa anterior foram analisadas conforme PESTEL. Consequentemente, uma nova coluna foi adicionada à planilha do Apêndice A, indicando qual aspecto de PESTEL o trecho se enquadrava. O Quadro 4 indica exemplos dessa análise retirados da planilha.

Quadro 4 - Exemplo da Análise PESTEL

Trecho	Tradução	Palavras-chaves	PESTEL	Categoria	Barreira/Solução	Autores	Artigo	Pág.
Industry 4.0 is a new technology that requires an understanding of analytical, programming, and technical knowledge.	A Indústria 4.0 é uma nova tecnologia que requer uma compreensão de conhecimento analítico, de programação e técnico.	conhecimento analítico, de programação e técnico	Social e Tecnológico	Qualificação profissional	Barreira	Singh <i>et al.</i> (2023)	Identification and severity assessment of challenges in the adoption of industry 4.0 in Indian construction industry	7
Thus, inadequate qualifications of the workforce is a barrier to I4.0 implementation	Assim, as qualificações inadequadas da força de trabalho são uma barreira à implementação da I4.0	qualificações inadequadas	Social	Qualificação profissional	Barreira	Tamvada <i>et al.</i> (2022)	Adopting new technology is a distant dream? The risks of implementing Industry 4.0 in emerging economy SMEs	8

Fonte: a autora

2.1.5 Produção

2.1.5.1 Redação e criação

Com base nos dados coletados e nas análises das etapas anteriores, foi possível gerar tabelas, quadros, figuras e esquemas para os resultados desta pesquisa.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 CATEGORIAS

As categorias identificadas com base no agrupamento dos trechos coletados na revisão sistemática de literatura estão detalhadas no Quadro 5, que apresenta a descrição de cada uma delas, juntamente com exemplos de desafios e soluções para facilitar a compreensão.

Quadro 5 - Resumo das categorias e seus exemplos

CATEGORIA	DESCRIÇÃO	DESAFIOS	SOLUÇÕES
Capacidade das tecnologias	Destaca a importância do funcionamento eficaz das soluções tecnológicas digitais na indústria da construção, através de infraestrutura de rede sólida, dispositivos robustos e sistemas escaláveis capazes de lidar com grandes volumes de dados.	Escassez e lentidão da conectividade à Internet; congestionamento de rede; capacidade computacional reduzida; falhas de hardware e software; falta de infraestrutura; equipamentos ineficientes.	Uso de infraestruturas robustas para o crescente volume de dados; Dispositivos projetados para condições adversas no canteiro de obras; Constante diagnóstico para a realização de manutenções.
Cultura organizacional	Envolve a promoção de uma mentalidade de inovação, adaptação e aprendizado contínuo, além da valorização da colaboração interdisciplinar e da liderança comprometida com a mudança.	Hesitação em passar por mudanças radicais; resistência ao aprendizado; falta de entendimento sobre o valor gerado pela digitalização e automação; falta de confiança; medo de perder o emprego.	Ações governamentais, como o fornecimento de programas de financiamento; Promoção de seminários, workshops e sessões de discussão para treinar a equipe e promover o contato entre trabalhadores e máquinas.
Padronização	Salienta a importância de diretrizes comuns para facilitar o compartilhamento de informações dentro das empresas, entre elas e no âmbito internacional.	Padrões que dificultam o compartilhamento de informações entre empresas; falta de padrões completos e internacionais; processos não padronizados dentro da empresa.	Ações governamentais para desenvolver formatos de dados padronizados para as partes interessadas.
Integração entre tecnologias	Destaca a importância de garantir que diferentes sistemas e tecnologias possam trabalhar de forma conjunta e eficiente através da integração de novas	Integração de novas tecnologias com tecnologias existentes; integração de tecnologias digitais com equipamentos tradicionais; comunicação entre	As empresas devem alinhar os fluxos de dados entre os sistemas e tecnologias.

CATEGORIA	DESCRIÇÃO	DESAFIOS	SOLUÇÕES
	tecnologias com as existentes.	sistemas; integração de diferentes fontes de informação.	
Investimento financeiro	Aponta os desafios e considerações relacionados aos recursos financeiros necessários para a implementação e manutenção de tecnologias inovadoras.	Incerteza em relação ao retorno do investimento; altos custos de adoção de novas tecnologias; os custos de manutenção; falta de incentivos financeiros.	Ações governamentais que incentivem financeiramente as organizações para a adoção das práticas;
Obsolescência	Salienta os desafios enfrentados devido à rápida evolução do cenário tecnológico. Isso inclui a necessidade constante de atualização tecnológica e de mão de obra.	Constante evolução do cenário tecnológico; obsolescência dos trabalhadores humanos.	-
Qualificação profissional	Destaca a importância da formação e desenvolvimento contínuo dos profissionais para enfrentar os desafios e aproveitar as oportunidades trazidas pela digitalização e automação.	Falta de profissionais qualificados com conhecimento analítico, de programação e técnico.	Criar e desenvolver novas competências e atrair pessoas com conhecimentos técnicos; Treinamentos para que todas as partes envolvidas compreendam as tecnologias 4.0.
Cibersegurança e Privacidade	Aponta a importância de proteger dados pessoais, das empresas, obras e dos sistemas contra ameaças cibernéticas em um ambiente cada vez mais digitalizado.	Proteção contra ataques cibernéticos e malware; proteção de dados pessoais; prevenção de vazamento de dados; implementação de mecanismos de segurança adequados, completos e bem projetados.	Estabelecer protocolos abrangentes de proteção de dados; Uso de tecnologias e práticas de segurança cibernética para mitigar os riscos; Controles de acesso e procedimentos de autenticação.
Legislação e regulamentação	Envolve os desafios da ausência de regulamentos e certificações específicas para assegurar a conformidade com os padrões de segurança e qualidade. A diversidade de legislações locais acrescenta complexidade adicional, exigindo adaptação para atender aos requisitos em diferentes jurisdições.	Ausência de padrões, questões legais e contratuais; falta de regulamentos e certificações; legislações locais.	Ações governamentais para a criação de leis e normas; As legislações devem incluir formatos de dados, modelos, protocolos de comunicação e diretrizes de interoperabilidade.

CATEGORIA	DESCRIÇÃO	DESAFIOS	SOLUÇÕES
Políticas Públicas e Setoriais	Destaca os desafios e considerações relacionados às políticas governamentais e ao desenvolvimento da indústria da construção em nível nacional e internacional, que pode retardar a adoção de tecnologias inovadoras.	Natureza da indústria da construção em diferentes países; falta de adesão dos executivos ou políticas alternativas; falta de entusiasmo e apoio do governo; questões éticas, morais e legais que ainda precisam ser abordadas pelo governo ou órgãos institucionais.	Estabelecer quadros de governança para orientar as práticas responsáveis de uso de dados; Promover a boa integração entre as partes interessadas.

Fonte: a autora

3.1.1 Capacidade das tecnologias

Os avanços tecnológicos na construção 4.0 demandam componentes e dispositivos preparados com infraestrutura robusta e competências especializadas. No entanto, a escassez e a lentidão da conectividade à Internet (Oesterreich; Teuteberg, 2016; Singh *et al.*, 2023; Wang *et al.*, 2021), a capacidade computacional reduzida (Meneghello *et al.*, 2019), as falhas de *hardware* e *software* (Almarri; Boussabaine; Al Nauimi, 2021), a falta de infraestrutura (Almarri; Boussabaine; Al Nauimi, 2021; Attaran; Celik, 2023; Franco *et al.*, 2022; Dinmohammadi, 2023; Tamvada *et al.*, 2022; Zhdaneev; Korenev; Lyadov, 2020) e os equipamentos ineficientes (Prabhakar; Belarmin Xavier; Abubeker, 2023), limitam o potencial das soluções tecnológicas da Construção 4.0.

Em relação à conectividade à Internet, a implementação dessas tecnologias depende, em grande medida, da infraestrutura física da rede para capturar, transferir, armazenar e analisar dados (Almarri; Boussabaine; Al Nauimi, 2021). Já no aspecto da infraestrutura, é necessário que os dispositivos sejam projetados para enfrentar condições adversas no canteiro de obras, como vibrações, quedas e umidade (Oesterreich; Teuteberg, 2016). Além disso, para a comunicação de dados, é necessária uma infraestrutura física essencial de diferentes tipos de equipamentos para transmitir, armazenar e processar dados (Calvetti *et al.*, 2020).

No quesito da capacidade computacional e dos equipamentos, as tecnologias devem ser escaláveis, o que significa que devem ser capazes de lidar com projetos de construção desde pequena a grande escala, mantendo o desempenho ideal (Omran *et al.*, 2023).

De acordo com Omran *et al.*, (2023), é essencial capturar e integrar todos os dados relevantes de várias fontes, incluindo, por exemplo, modelos BIM, dados de sensores, registros históricos e dados operacionais, usando sistemas e infraestruturas robustas capazes

de lidar eficientemente com o crescente volume de dados. Ademais, para o adequado funcionamento dos dispositivos, é necessário o constante diagnóstico sobre as condições dos mesmos para a realização de manutenções preventivas (Attaran; Celik, 2023).

Portanto, os desafios enfrentados na implementação das tecnologias da Construção 4.0 envolvem questões cruciais relacionadas à infraestrutura, conectividade, capacidade computacional e eficiência dos dispositivos. A necessidade de dispositivos robustos, capazes de resistir às condições adversas encontradas nos locais de construção, ressalta a importância da consideração dos aspectos práticos e operacionais na implementação dessas tecnologias.

3.1.2 Cultura organizacional

Tradicionalmente, o setor da construção tem demonstrado resistência à incorporação de inovações em suas práticas operacionais. Na literatura utilizada, a hesitação em passar por mudanças (Jan *et al.*, 2023), a resistência ao aprendizado (Wang *et al.*, 2021), a falta de entendimento sobre os benefícios da Construção 4.0 (Demirkesen; Tezel, 2021), a falta de confiança (Wang *et al.*, 2021) e o medo de perder o emprego (Prabhakar; Belarmin Xavier; Abubeker, 2023; Regona *et al.*, 2022; Wang *et al.*, 2021) são fatores que contribuem para a relutância em adotar inovações tecnológicas.

Nesse sentido, observaram-se dois cenários vinculados à cultura organizacional:

- a) Ao nível da direção das empresas;
- b) Ao nível dos funcionários das empresas.

No cenário "a", quando há falta de compreensão sobre os benefícios da Construção 4.0 reforça-se a relutância das empresas em adotar essas tecnologias (Wang *et al.*, 2021). Além disso, as tecnologias da Construção 4.0 são relativamente novas, levando os gestores a hesitar em incorporá-las devido à falta de confiança (Dinmohammadi, 2023). Já no cenário "b", ressalta-se a resistência dos funcionários devido ao receio de perderem seus empregos para as máquinas (Prabhakar; Belarmin Xavier; Abubeker, 2023; Regona *et al.*, 2022; Wang *et al.*, 2021), além da relutância em aprender novas competências (Singh *et al.*, 2023).

Portanto, é crucial tornar as tecnologias mais atrativas para promover sua adoção (Nagy; Papp; Szabó, 2021). Segundo Oesterreich; Teuteberg (2016), a nível de mercado, ações institucionais, como o fornecimento de programas de financiamento, desempenham um papel fundamental no estímulo às empresas para adotarem tais tecnologias. Além disso, a nível das empresas, a conscientização e o treinamento dos colaboradores nas empresas de construção são essenciais para facilitar a adoção dessas inovações (Singh *et al.*, 2023).

Assim, os diretores das empresas devem implementar medidas adequadas, como a organização de seminários, workshops e sessões de discussão, não apenas para treinar a equipe, mas também para promover um ambiente propício ao contato eficiente entre trabalhadores e máquinas (Singh *et al.*, 2023).

Portanto, a indústria da construção, famosa por sua relutância em adotar mudanças ao longo da história, confronta-se agora com o desafio iminente da Construção 4.0. Essa nova abordagem requer uma transformação cultural nas empresas em vários níveis e em todo o mercado.

3.1.3 Padronização

A padronização eficaz é a chave para desbloquear o potencial das tecnologias da Construção 4.0. Nesse sentido, dentre as características que impedem alcançar este potencial incluem-se: processos não padronizados dentro das empresas (Attaran; Celik, 2023; Oesterreich; Teuteberg, 2016; Regona *et al.*, 2022; Singh *et al.*, 2023), padrões que dificultam o compartilhamento de informações entre empresas (Regona *et al.*, 2022), falta de padrões completos e internacionais (Oesterreich; Teuteberg, 2016). Esses são alguns dos fatores que inibem a adoção de novas tecnologias.

Na indústria da construção, as novas tecnologias vinculadas à Indústria 4.0 não têm padrões que facilitem o compartilhamento de informações entre empresas (Regona *et al.*, 2022). Outro desafio é estabelecer padrões dentro da própria organização (Oesterreich; Teuteberg, 2016), uma vez que cada projeto apresenta suas próprias variáveis (Bazan; Estevez, 2021). Isso dificulta a criação de estruturas que permitam a inovação e a adoção de tecnologia 4.0 (Demirkesen; Tezel, 2021). De acordo com Singh *et al.* (2023), é necessário padronizar as informações entre os diversos departamentos das empresas para adotar as novas tecnologias 4.0. Caso haja alguma desconexão na cadeia de suprimentos, as novas tecnologias não poderão ser integradas à organização.

Para enfrentar esse desafio, é prioritário desenvolver formatos de dados padronizados e protocolos que facilitem a colaboração e a troca contínua de dados entre diversos sistemas e partes interessadas. Além disso, é importante adotar padrões completos e internacionais para todas as tecnologias e empresas (Oesterreich; Teuteberg, 2016). Essa abordagem colaborativa permite o compartilhamento de informações durante todo o ciclo de vida do projeto, maximizando os benefícios e a eficácia da implementação de tecnologias 4.0 na indústria da construção (Omran *et al.*, 2023).

Nesse sentido, a PAS 1192-2, uma especificação técnica desenvolvida pelo BSI (British Standards Institution), é um exemplo notável de padronização para novas tecnologias. Conforme Rêgo *et al.* (2022), ela foi criada para fornecer diretrizes e padrões para a troca de informações de construção durante a fase de operação e manutenção de ativos construídos, com foco especial no contexto do Building Information Modelling (BIM).

Desse modo, é crucial estabelecer padrões dentro das organizações, entre as empresas e internacionalmente para garantir a adoção eficaz das novas tecnologias vinculadas à Indústria 4.0.

3.1.4 Integração entre tecnologias

O encontro entre a inovação do futuro e a tradição do passado promove uma revolução na eficiência e produtividade da indústria. Diante disso, a integração de novas tecnologias com tecnologias existentes (Almarri; Boussabaine; Al Nauimi, 2021; Attaran; Celik, 2023; Wang *et al.*, 2021), a integração de tecnologias com competências digitais (Jan *et al.*, 2023; Prabhakar; Belarmin Xavier; Abubeker, 2023; Tamvada *et al.*, 2022), e a comunicação entre diferentes tipos de dados (Čustović; Cao; Hall, 2023; Guo; Zhang; Zhang, 2023; Maqbool; Saiba; Ashfaq, 2023; Omrany *et al.*, 2023), são desafios a serem superados.

Conforme Tamvada *et al.* (2022), as tecnologias 4.0 integram os mundos digital e físico, confundindo as fronteiras desses dois domínios ao combinar tecnologias digitais modernas com tecnologias tradicionais. Dessa forma, um desafio seria permitir a interoperabilidade de diferentes tecnologias (Turner *et al.*, 2021).

Assim, para explorar as oportunidades decorrentes das tecnologias relacionadas à Indústria 4.0, as empresas devem integrar novas tecnologias e competências digitais em seus negócios (Tamvada *et al.*, 2022). Adicionalmente, para Omrany *et al.* (2023), estas devem enfrentar os desafios relacionados à integração e interoperabilidade de dados, sendo necessário alinhar os fluxos de dados entre elas.

Um exemplo de integração de novas tecnologias com processos convencionais é o uso de drones para a inspeção na obra. Para Ciampa; Vito; Pecce, (2019), os drones podem ser programados para voar sobre a obra regularmente, capturando imagens e vídeos detalhados de diferentes ângulos e perspectivas. Essas imagens e vídeos são então processados por *software* de análise de dados, que pode identificar automaticamente potenciais problemas, como rachaduras, deslocamentos ou falhas estruturais. Desta maneira, as informações capturadas com o uso de drones podem ser integradas ao serviço de inspeção de obras.

Consequentemente, ao unir serviços tradicionais, como inspeções manuais, com tecnologias associadas à Construção 4.0, como drones e análise automatizada de dados, as empresas podem aprimorar a eficiência, segurança e qualidade do processo construtivo. Essa convergência entre inovação e tradição impulsionará a eficácia da indústria.

3.1.5 Investimento financeiro

O investimento financeiro é um grande aliado na aquisição de tecnologia e capacitação da força de trabalho (Almarri; Boussabaine; Al Nauimi, 2021). No entanto, a incerteza em relação ao retorno do investimento (Jan *et al.*, 2023; Singh *et al.*, 2023), os altos custos de adoção de novas tecnologias (Attaran; Celik, 2023; Bazan; Estevez, 2021; Nagy; Papp; Szabó, 2021; Prabhakar; Belarmin Xavier; Abubeker, 2023; Regona *et al.*, 2022; Zhdaneev; Korenev; Lyadov, 2020), os custos de manutenção (Jan *et al.*, 2023) e a falta de incentivos financeiros (Čustović; Cao; Hall, 2023), são obstáculos que dificultam a adoção da inovação tecnológica relativas à Indústria 4.0 por parte dos diretores das empresas.

É crucial realizar investimentos, não apenas para adquirir a tecnologia, mas também para aprimorar as competências da força de trabalho (Almarri; Boussabaine; Al Nauimi, 2021). A implementação de soluções da Construção 4.0 requer investimentos significativos em plataformas tecnológicas (sensores, *software* etc.), desenvolvimento de infraestrutura, manutenção, controle de qualidade de dados e soluções de segurança (Attaran; Celik, 2023; Jan *et al.*, 2023; Tamvada *et al.*, 2022). No entanto, esses custos podem ser inacessíveis para a maioria dos subempreiteiros e pequenas empresas que compõem a maior parte da indústria da construção (Regona *et al.*, 2022).

Diante disso, o desenvolvimento de métodos e ferramentas para estimar e otimizar investimentos, juntamente com parcerias industriais colaborativas, pode ajudar a reduzir os custos (Čustović; Cao; Hall, 2023). Além disso, são fundamentais políticas públicas que incentivem financeiramente as organizações para a adoção das práticas 4.0 (Čustović; Cao; Hall, 2023). Conforme Betiatto (2021), em 2020 houve um aumento de 180% no número de empresas quando comparado com os valores de 2017. Para a autora, esse crescimento no número de empresas deve-se sobretudo ao aumento de incentivos à inovação no Brasil.

Um exemplo de política pública voltada para o estímulo à inovação no mercado é a Lei do Bem (Lei nº 11.196/2005), regulamentada pelo Decreto nº 5.798/2006, é um incentivo às atividades de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I) nas empresas brasileiras. Essa legislação oferece incentivos fiscais para empresas de todos os setores da economia e

regiões do país, visando estimular investimentos privados em pesquisa e desenvolvimento tecnológico. Os benefícios fiscais abrangem a concepção de novos produtos, o processo de fabricação e a melhoria incremental de produtos ou processos, promovendo maior competitividade no mercado ao incentivar a fase de maior incerteza nas etapas de criação e teste de novas tecnologias (Brasil, 2005).

Em conclusão, os desafios enfrentados pelos diretores das empresas na adoção das tecnologias da Indústria 4.0, especialmente na indústria da construção, incluem a incerteza quanto ao retorno do investimento, altos custos de adoção e manutenção, além da falta de incentivos financeiros. Para superar esses obstáculos, é crucial realizar investimentos não apenas na aquisição de tecnologia, mas também no desenvolvimento das competências da força de trabalho. Parcerias colaborativas, métodos de otimização de investimentos e políticas públicas, como a Lei do Bem no Brasil, desempenham um papel fundamental ao oferecer incentivos fiscais para atividades de pesquisa, desenvolvimento e inovação, promovendo assim uma maior competitividade e estimulando investimentos em tecnologia e inovação na indústria da construção.

3.1.6 Obsolescência

Na corrida contra o ritmo frenético das mudanças e o constante surgimento de novas tecnologias digitais, é exigido adaptação ágil e inovação constante. Nesse sentido, dentre as características que exemplificam essa categoria incluem-se: a constante evolução do cenário tecnológico (Almarri; Boussabaine; Al Nauimi, 2021; Maskuriy *et al.*, 2019; Regona *et al.*, 2022; Singh *et al.*, 2023; Tamvada *et al.*, 2022) e a obsolescência da qualificação dos trabalhadores (Singh *et al.*, 2023). Esses fatores contribuem para a complexidade dessa situação.

Em relação à obsolescência tecnológica, um dos fatores a ser considerado é o fato de que a tecnologia está evoluindo rapidamente e as organizações do setor público e privado não conseguem acompanhar essas mudanças. Assim, os componentes da rede e infraestrutura tecnológica podem se tornar obsoletos rapidamente (Almarri; Boussabaine; Al Nauimi, 2021).

No sentido da obsolescência humana há dois cenários que podem ser abordados:

- a) A substituição humana por máquinas;
- b) A substituição das qualificações profissionais tradicionais.

Em relação ao cenário “a”, Singh *et al.* (2023) afirmam que a adoção da Construção 4.0 pode substituir tarefas humanas por tecnologias automatizadas, transformando a maneira como o trabalho é realizado em diversos níveis. Referente ao cenário “b”, com o rápido avanço da adoção e transformação digital referente a Indústria 4.0, muitas organizações lutam para encontrar e capacitar seus funcionários com as competências adequadas (Tamvada *et al.*, 2022). Este último será tratado mais especificamente no tópico abaixo “Qualificação Profissional”.

Portanto, o rápido avanço das aplicações da Construção 4.0 tem gerado dilemas para as empresas em decidir sua adoção, devido à constante evolução do cenário tecnológico e à obsolescência potencial da mão de obra humana.

3.1.7 Qualificação profissional

Na inovação tecnológica relativa à Indústria 4.0, o conhecimento é uma das chaves para uma construção mais eficiente. No entanto, a falta de profissionais qualificados, que tenham competências técnicas, analíticas e de programação (Demirkesen; Tezel, 2021; Jan *et al.*, 2023; Nagy; Papp; Szabó, 2021; Singh *et al.*, 2023; Tamvada *et al.*, 2022; Wang *et al.*, 2021), em conjunto com profissionais da produção que não são digitalmente certificados (Demirkesen; Tezel, 2021; Elghaish *et al.*, 2022), são fatores que influenciam essa categoria.

Para exemplificar esta situação foi utilizada a classificação proposta por Oviedo Haito (2010). Segundo este autor, os trabalhadores da construção civil podem se agrupar, de maneira geral, em dois grandes grupos:

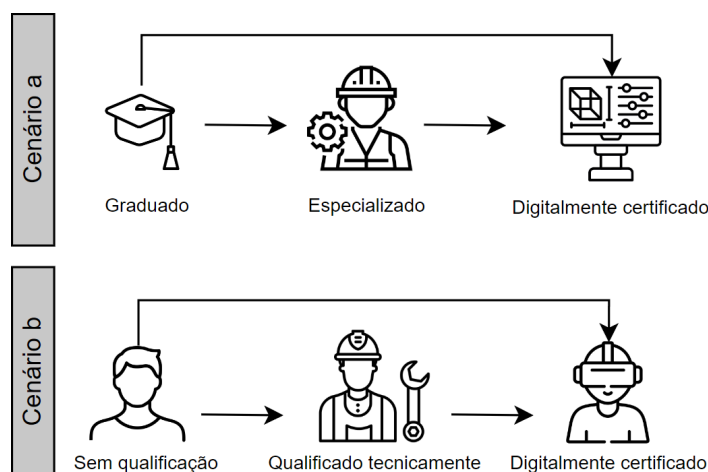
- a) Apoio à produção;
- b) Produção.

O cenário “a” ainda se divide em:

- a1) Apoio à produção no canteiro;
- a2) Apoio à produção no escritório.

Considera-se como participantes de “a1” os engenheiros de obra, responsáveis pela segurança, apontadores, dentre outros. Já para no cenário “a2”, encontram-se os projetistas, contadores, auxiliares técnicos, e assim por diante. Por fim, para o cenário “b” tem-se pedreiros, instaladores, montadores, dentre outros. Dessa forma, é necessário que os profissionais citados desenvolvam competências para adoção de tecnologias da Construção 4.0, conforme Figura 5.

Figura 5 - Cenários “a” e “b”



Fonte: a autora

Em relação ao cenário “a”, na maioria das empresas adotar novas tecnologias é difícil devido à falta de pessoal especializado (Tamvada *et al.*, 2022). Dessa forma, as competências dos trabalhadores devem ser adaptadas para lidar com a inovação tecnológica referente à Indústria 4.0 (Schnasse; Menzefricke; Dumitrescu, 2021). De acordo com Souza; Debs (2023), para a era da Construção 4.0, competências técnicas como alfabetização digital, programação/codificação, análise e gerenciamento de dados, gestão e planejamento da construção, de pessoas e de recursos naturais, bem como processos de automação, são essenciais.

Em relação ao cenário "b", a maioria dos trabalhadores da indústria da construção possui pouca ou nenhuma formação educacional formal (Singh *et al.*, 2023). Para esses trabalhadores, a introdução de conceitos como Construção 4.0 pode ser desafiadora (Hayat; Réda, 2022). Conforme Calvetti *et al.* (2020), é necessário que esses profissionais estejam familiarizados com o uso de tecnologias como drones, óculos de realidade mista, além de ferramentas, máquinas e equipamentos automatizados.

Portanto, a introdução de novas tecnologias pode impactar negativamente as competências tradicionais (Tamvada *et al.*, 2022). Desse modo, há uma necessidade crescente de treinamento e desenvolvimento dos profissionais. O desafio é criar e desenvolver novas competências e atrair pessoas com conhecimentos técnicos (Oesterreich; Teuteberg, 2016). Além disso, a incorporação de uma nova tecnologia requer treinamentos para que todas as partes envolvidas compreendam a mesma. Logo, a gestão da empresa pode organizar seminários e workshops, por exemplo (Singh *et al.*, 2023).

Em resumo, na inovação tecnológica da Construção 4.0, a falta de profissionais qualificados é um desafio. Assim, a adaptação das competências dos trabalhadores e o investimento em treinamento são cruciais para superar essas barreiras e garantir uma transição gradativa para a nova era da construção.

3.1.8 Cibersegurança e privacidade

O uso de dados digitais requer uma série de precauções. Isso inclui proteção contra ataques cibernéticos e malware (García de Soto *et al.*, 2022; Guo; Zhang; Zhang, 2023; Meneghello *et al.*, 2019; Regona *et al.*, 2022; Sharma; Jindal; Borah, 2023; Tamvada *et al.*, 2022), proteção de dados pessoais (Alarefi, 2023; Demirkesen; Tezel, 2021; Meneghello *et al.*, 2019; Oesterreich; Teuteberg, 2016; Wang *et al.*, 2021), prevenção de vazamento de dados (Trung *et al.*, 2021), e implementação de mecanismos de segurança adequados, completos e bem projetados (Meneghello *et al.*, 2019). Todos esses elementos estão relacionados à segurança e privacidade de empresas e usuários envolvidos na utilização de tecnologias digitais.

À medida que os ataques cibernéticos aumentam, a segurança cibernética representa um risco significativo para as empresas que implementam as tecnologias da Construção 4.0 (Tamvada *et al.*, 2022). Segundo Sharma; Jindal; Borah (2023), as questões de privacidade aumentam quando as organizações não têm certeza sobre os riscos da era digital. Para esses autores, avaliar as ameaças associadas é um processo tedioso para as organizações.

A cibersegurança e a privacidade são questões críticas, pois podem ter implicações financeiras e comprometer a segurança das obras e das empresas (Regona *et al.*, 2022). Além disso, infraestruturas pouco robustas e de baixo custo geralmente não suportam mecanismos de segurança fortes e podem ser alvo de ataques (Meneghello *et al.*, 2019). Também é importante notar que, caso haja instabilidade persistente na rede, ela se torna suscetível a ataques e ameaças externas (Almarri; Boussabaine; Al Nauimi, 2021).

Adicionalmente, a segurança e privacidade dos usuários também devem ser abordadas. Nesse cenário, muitas vezes o usuário final desconhece as questões de segurança relacionadas aos dispositivos que fazem parte do seu cotidiano. Por exemplo, sem proteções contra espionagem, as redes sem fio podem expor informações pessoais confidenciais (Meneghello *et al.*, 2019).

Segundo Omrany *et al.* (2023), para enfrentar o desafio da privacidade e da segurança, é crucial estabelecer protocolos abrangentes de proteção de dados. Isso envolve o uso de tecnologias e práticas de segurança cibernética para mitigar os riscos potenciais. Além

disso, a implementação de controles de acesso, procedimentos de autenticação e permissões de usuário ajuda a restringir o acesso aos dados pessoais.

Nigam; Talcott (2022), destacam o uso de *wrappers* de segurança como uma técnica fundamental para reforçar a segurança de aplicativos ou sistemas de software. Esses *wrappers* atuam como uma camada de proteção adicional, encapsulando o componente de *software* e controlando as interações com ele. Além disso, eles podem ser empregados para proteger sistemas vulneráveis, aplicando medidas de controle de acesso, autenticação e autorização adicionais.

Outro ponto abordado é a influência governamental, que desempenha um papel fundamental na garantia da conformidade com regulamentos e normas (Omrany *et al.*, 2023). Já que os esforços para adotar a Construção 4.0 são dificultados pela falta de medidas legislativas adequadas para o crescimento da segurança cibernética (Singh *et al.*, 2023).

Portanto, o uso de dados digitais requer precauções robustas, abrangendo proteção contra eventuais ataques cibernéticos, vazamento de dados e garantia da privacidade. Essas medidas são cruciais para garantir a segurança das operações na Construção 4.0.

3.1.9 Legislação e regulamentação

A conformidade com a legislação e regulamentação é fundamental para garantir a adoção segura da Construção 4.0. No entanto, a ausência de padrões, aspectos legais e contratuais (Maqbool; Saiba; Ashfaq, 2023; Omrany *et al.*, 2023; Prabhakar; Belarmin Xavier; Abubeker, 2023; Regona *et al.*, 2022; Singh *et al.*, 2023), falta de regulamentos e certificações (Demirkesen; Tezel, 2021; Dinmohammadi, 2023; Singh *et al.*, 2023) e as diferentes legislações locais e internacionais (Čustović; Cao; Hall, 2023), são fatores predominantes nessa categoria.

A maioria das organizações de construção enfrenta obstáculos devido à falta de normas e indefinição quanto a aspectos legais e contratuais (Singh *et al.*, 2023). Dessa forma, essas lacunas precisam ser abordadas pelo governo ou por órgãos institucionais (Regona *et al.*, 2022). A ausência de práticas e estruturas padronizadas dificulta a interoperabilidade e a consistência entre projetos e diferentes partes interessadas (Omrany *et al.*, 2023).

Para enfrentar esse desafio, é crucial estabelecer normas e promover a padronização (Omrany *et al.*, 2023). Para isso, é necessário formar um painel de especialistas e realizar estudos e pesquisas (Prabhakar; Belarmin Xavier; Abubeker, 2023). De acordo com Omrany

et al. (2023), as legislações devem abranger diversos aspectos, incluindo formatos de dados, modelos, protocolos de comunicação e diretrizes de interoperabilidade.

Um exemplo disto são as normas ISO 19650, desenvolvidas pela Organização Internacional de Normalização (ISO). Estas representam uma regulamentação significativa para novas tecnologias na indústria da construção. De acordo com Ribeiro *et al.* (2023), essa série compreende um conjunto de diretrizes internacionais que estabelecem os padrões para a gestão da informação em projetos de construção que adotam o Building Information Modeling (BIM). Composta por várias partes publicadas e uma em desenvolvimento, as normas ISO 19650 são fundamentais para promover a padronização, a colaboração e a eficiência na troca de informações ao longo do ciclo de vida dos empreendimentos construídos.

Portanto, a conformidade com legislação e regulamentação é crucial para a segura adoção da Construção 4.0, porém, a falta de padrões e regulamentos legais e contratuais apresenta desafios significativos. Assim, é importante estabelecer legislações e regulamentações por parte do governo ou outros órgãos institucionais.

3.1.10 Políticas públicas e Setoriais

O desenvolvimento eficaz da Construção 4.0 depende diretamente de políticas públicas e setoriais robustas que impulsionem a inovação e modernização do setor. No entanto, a natureza da indústria da construção em diferentes países (Omrany *et al.*, 2023), a falta de adesão dos executivos ou políticas alternativas (Dinmohammadi, 2023), falta de apoio do governo (Al-Omari *et al.*, 2023; Singh *et al.*, 2023); aspectos éticos, morais e legais que ainda precisam ser abordados pelo governo ou órgãos institucionais (Kozlovska; Klosova; Strukova, 2021; Regona *et al.*, 2022; Teisserenc; Sepasgozar, 2021), interferem nessa categoria.

O contexto único de cada país, incluindo sua maturidade digital, quadros regulamentares e práticas industriais, torna difícil a implementação da inovação tecnológica relativa à Indústria 4.0 na construção civil (Omrany *et al.*, 2023). Adaptar as tecnologias às diferentes políticas locais também é um desafio, de acordo com Čustović; Cao; Hall, (2023).

É crucial estabelecer quadros de governança para orientar as práticas responsáveis de uso de dados, definir diretrizes claras para a propriedade, acesso, compartilhamento e uso ético dos dados na indústria da construção e promover a cooperação entre as partes interessadas. Essas medidas resultam em maior eficiência e sustentabilidade a longo prazo,

tornando a indústria mais resiliente e adaptável às mudanças tecnológicas em curso (Omrany *et al.*, 2023). Além disso, com o apoio governamental, é possível um desenvolvimento no setor da inovação da indústria da construção, o que possibilitaria a adoção mais abrangente das tecnologias 4.0 nas empresas (Kozlovska; Klosova; Strukova, 2021).

Uma demonstração notável, apresentada por Jin *et al.* (2024), ocorreu em Hong Kong, onde o governo lançou diversas políticas para promover a adoção de novas tecnologias 4.0 na indústria da construção. Isso incluiu a implementação de requisitos obrigatórios e esquemas de incentivo para estimular uma maior adesão às inovações. Essas políticas foram concebidas para impulsionar a modernização do setor, melhorando a eficiência, a qualidade e a sustentabilidade dos projetos de construção em Hong Kong.

Desse modo, o desenvolvimento eficaz da Construção 4.0 depende de políticas públicas e setoriais robustas que promovam a inovação e modernização do setor. No entanto, desafios como a falta de adesão dos executivos, questões éticas e legais, e a necessidade de adaptação aos diferentes contextos nacionais interferem nesse processo. Para enfrentar tais desafios, o estabelecimento de quadros de governação é crucial, orientando práticas responsáveis de uso de dados e promovendo a cooperação entre as partes interessadas, impulsionando a eficiência e a sustentabilidade a longo prazo.

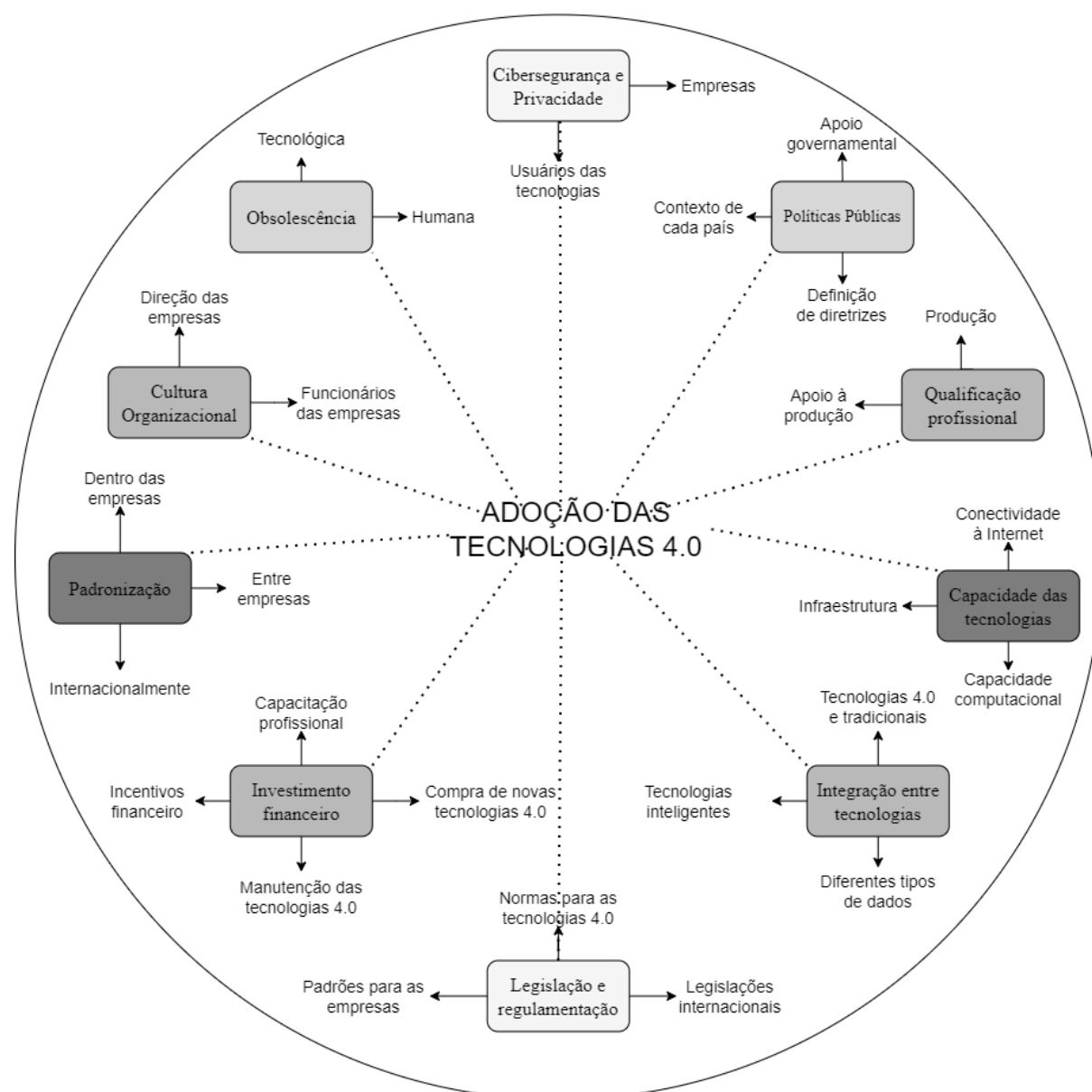
3.2 SUBCATEGORIAS

As discussões identificadas em cada categoria relacionaram-se com subcategorias específicas. Por exemplo, a categoria Qualificação Profissional, destacou dois grupos a) Apoio à produção e b) Produção, enquanto que a categoria Cultura Organizacional salientou os cenários a) Direção das empresas e b) Funcionários das empresas. Estas subcategorias representam os fatores de produção afetados pelas barreiras associadas às dez categorias identificadas. De forma sucinta, estas vinculam-se com aspectos internos e externos à produção das obras, como sendo pessoas, capital, infraestrutura tecnológica, dentre outros fatores.

Especificamente, estas subcategorias variam desde aspectos técnicos e operacionais até culturais e legais. Estes podem ser entendidos como aspectos que afetam a nível da indústria, da empresa (organização) e a nível da obra (empreendimento) (Hu *et al.*, 2019). Além disso, se relacionam com fatores internos - estrutura e cultura organizacional, recursos humanos qualificados, gestão financeira eficaz, dentre outros (Jiang *et al.*, 2018; Lu, 2010; Madigan, 1997; Sha; Yang; Song, 2008; Turkyilmaz *et al.*, 2019; Zavadskas; Turskis;

Tamosaitiene, 2011) - e fatores externos - condições econômicas globais, regulamentações governamentais, concorrência no mercado, tendências sociais, disponibilidade de mão de obra e materiais, e assim por diante (Gao; Low, 2014; Lu, 2010; Rowlinson, 2007; Tang; Atkinson; Zou, 2012; Zavadskas; Turskis; Tamosaitiene, 2011; Zeng; Chen; Tam, 2005; Zhang *et al.*, 2021) - que influenciam o desempenho nas empresas da indústria da construção. A Figura 6 sintetiza as subcategorias levantadas.

Figura 6 - Principais aspectos vinculados com os desafios e soluções para a adoção de tecnologias da Construção 4.0



Fonte: a autora

A identificação desses objetos permite visualizar em quais fatores de produção as empresas do setor devem focar para desenvolver as características associadas à transformação digital.

3.3 ANÁLISE PESTEL

Com as categorias descritas e exemplificadas, foi possível analisá-las conforme PESTEL. Assim, o Quadro 6 mostra os seis aspectos de PESTEL, seus conceitos e exemplos.

Quadro 6 - Seis aspectos de PESTEL

PESTEL	CONCEITO	EXEMPLOS
Político	Refere-se ao impacto das políticas governamentais, estabilidade política, regulamentações e intervenções governamentais na indústria. Isso inclui políticas fiscais, regulamentações ambientais, políticas comerciais e estabilidade política que podem afetar as operações e estratégias das empresas.	<ul style="list-style-type: none"> - Mudanças nas políticas governamentais de incentivo à inovação e tecnologia na construção. - Apoio governamental para programas de pesquisa e desenvolvimento de tecnologias construtivas avançadas.
Econômico	Envolve fatores econômicos como taxa de crescimento econômico, taxas de juros, inflação, taxa de câmbio e ciclo econômico. Esses fatores influenciam os padrões de demanda dos consumidores, custos de produção, rentabilidade e viabilidade de investimentos.	<ul style="list-style-type: none"> - Custos de investimento em novas tecnologias e treinamento de pessoal. - Impacto na disponibilidade de financiamento para projetos de tecnologia da construção 4.0.
Social	Considera aspectos sociais, culturais, demográficos e comportamentais que impactam a indústria.	<ul style="list-style-type: none"> - Aceitação da tecnologia por parte dos trabalhadores da construção. - Adaptação às novas competências de trabalho.
Tecnológico	Refere-se ao impacto da inovação tecnológica, avanços, pesquisa e desenvolvimento na indústria. Isso engloba o ritmo de inovação, automação, novos materiais e processos de produção que podem alterar radicalmente os modelos de negócios e a competitividade das empresas.	<ul style="list-style-type: none"> - Avanços em <i>software</i> de modelagem de construção (BIM), realidade virtual, drones e automação. - Desenvolvimento de novos materiais de construção e métodos de fabricação aditiva.
Ambiental	Envolve fatores ambientais, ecológicos e climáticos que afetam as operações das empresas. Isso inclui mudanças climáticas,	<ul style="list-style-type: none"> - Ênfase em construção verde e práticas sustentáveis. - Regulamentações ambientais em constante evolução, afetando a

PESTEL	CONCEITO	EXEMPLOS
	sustentabilidade, regulamentações ambientais, conservação de recursos naturais e pressão para práticas empresariais responsáveis.	escolha de materiais e processos de construção.
Legal	Considera o impacto das leis, regulamentações, legislações trabalhistas, tributárias e comerciais na indústria.	- Regulamentações de segurança e conformidade para a utilização de drones e robótica na construção. - Requisitos legais para proteção de dados e privacidade na utilização de tecnologias digitais na construção.

Fonte: a autora, a partir de Pan; Chen; Zhan (2019)

Através das categorias apresentadas, é possível realizar uma análise PESTEL para os desafios encontrados, conforme o Quadro 7.

Quadro 7 - Desafios por PESTEL

DESAFIOS	P	E	S	T	E	L
Capacidade das tecnologias instaladas		X		X		
Cultura organizacional				X		
Padronização			X	X		
Integração entre tecnologias			X	X		
Investimento financeiro		X	X	X		
Obsolescência		X	X	X	X	
Qualificação profissional	X		X	X		
Cibersegurança e Privacidade		X	X	X		
Legislação e regulamentação	X					X
Políticas Públicas e Setoriais	X					X

P - Political, E - Economic, S - Social, T - Technological, E - Environmental, L - Legal

Fonte: a autora

No Quadro 7 nota-se que os desafios nos aspectos social e tecnológico são os mais frequentes. No aspecto social, destaca-se dada à necessidade imperativa de aceitação social e à complexa cadeia de suprimentos, que envolve às diversas partes interessadas da construção (Singh *et al.*, 2023). Essas partes interessadas incluem clientes, consultores, empreiteiros e líderes comunitários (Osunsanmi *et al.*, 2020), destacando a importância de considerar os

aspectos sociais para garantir o sucesso na implementação das inovações tecnológicas referentes à Indústria 4.0.

No aspecto tecnológico, a constante inovação exige que as empresas acompanhem e adotem continuamente novas soluções para se manterem competitivas no mercado (Tamvada *et al.*, 2022). No entanto, essa rápida evolução pode representar desafios significativos, como altos custos de implementação (Attaran; Celik, 2023), complexidade técnica (Almarri; Boussabaine; Al Nauimi, 2021), interoperabilidade (Prabhakar; Belarmin Xavier; Abubeker, 2023) e preocupações com segurança cibernética (Guo *et al.*, 2023). Esses fatores tornam o aspecto tecnológico uma barreira proeminente para a adoção da Construção 4.0.

Em resumo, os dados coletados indicam que as abordagens social e tecnológica exigem maior atenção para superar desafios e impulsionar a adoção das tecnologias vinculadas com a Construção 4.0. Ademais, em relação aos aspectos legal e ambiental e suas baixas quantidades de trechos encontrados, estes são descritos de forma conjunta às soluções nos próximos parágrafos.

De forma complementar, através das categorias apresentadas, também é possível realizar uma análise PESTEL para as soluções encontradas, conforme o Quadro 8.

Quadro 8 - Soluções por PESTEL

SOLUÇÕES	P	E	S	T	E	L
Capacidade das tecnologias instaladas		X		X		
Cultura organizacional	X	X	X			
Padronização	X		X			X
Integração entre tecnologias				X		
Investimento financeiro	X	X	X			
Obsolescência						
Qualificação profissional	X	X	X			
Cibersegurança e Privacidade	X	X		X		
Legislação e regulamentação	X	X				X
Políticas Públicas e Setoriais	X					X

P - Political, E - Economic, S - Social, T -Technological, E - Environmental, L - Legal

Fonte: a autora

Neste sentido, com relação às soluções para enfrentar os desafios, os aspectos político e econômico são os mais recorrentes. No aspecto político, isso ocorre devido ao papel crucial

das políticas governamentais na superação das barreiras à adoção da Construção 4.0 (Omrany *et al.*, 2023). Essas políticas podem estabelecer um ambiente propício para a inovação e a incorporação de tecnologias avançadas, por meio da oferta de incentivos financeiros, regulamentações que encoraje a inovação, programas de capacitação para os trabalhadores e padrões de qualidade e segurança (Čustović; Cao; Hall, 2023; Oesterreich; Teuteberg, 2016). Além disso, as políticas governamentais podem fomentar a colaboração entre empresas e instituições de pesquisa, estimulando a inovação e o desenvolvimento na indústria da construção (Prabhakar; Belarmin Xavier; Abubeker, 2023).

Por sua vez, o aspecto financeiro desempenha um papel fundamental na superação das barreiras à adoção da Construção 4.0, devido à natureza intensiva em capital das tecnologias envolvidas. A implementação bem-sucedida de soluções da Construção 4.0 geralmente exige investimentos substanciais em diversas áreas, como infraestrutura digital, aquisição de equipamentos de última geração, licenças de *software* especializado (Attaran; Celik, 2023; Jan *et al.*, 2023; Tamvada *et al.*, 2022) e programas abrangentes de treinamento para os funcionários (Almarri; Boussabaine; Al Nauimi, 2021). Esses investimentos são essenciais para capacitar as empresas a enfrentarem os desafios da transformação digital e garantir uma transição tranquila para um ambiente de construção mais tecnologicamente avançado.

Também é importante mencionar que o aspecto legal e ambiental da análise PESTEL não desempenharam um papel proeminente ao abordar os tanto os desafios, quanto às soluções para a adoção da Construção 4.0. Em relação ao aspecto legal, isso pode ser atribuído à falta de preocupações legais significativas relacionadas às tecnologias nesta fase inicial de adoção. Por exemplo, o Building Information Modeling (BIM) foi implementado na primeira década de 2000, mas suas regulamentações só foram estabelecidas e continuam a ser desenvolvidas ao longo da segunda década (Pinti; Codinhoto; Bonelli, 2022). À medida que a indústria da construção continua a evoluir e novas tecnologias são adotadas, é possível que questões legais específicas venham a surgir e ganhar destaque no futuro.

No que diz respeito ao aspecto ambiental, historicamente, a indústria da construção não priorizou de forma significativa as questões ambientais (Kuyven; Oliveira, 2023). Apesar do aumento da conscientização sobre sustentabilidade nos últimos anos, muitas empresas ainda não consideram o aspecto ambiental como uma prioridade ao discutir a adoção de novas tecnologias. No entanto, à medida que a pressão por práticas sustentáveis aumenta, espera-se que as empresas da indústria da construção ganhem cada vez mais conscientização para considerar os impactos ambientais de suas atividades (Gálvez-Martos *et al.*, 2018; Kuyven; Oliveira, 2023).

Ademais, é perceptível a ausência de soluções para a categoria de obsolescência, possivelmente devido à natureza recente das tecnologias, que estão em estágios iniciais de desenvolvimento e adoção, não chegando ao ponto de se tornarem obsoletas (Schuh *et al.*, 2020).

3.4 SÍNTESE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Diante da necessidade de compreender por que a Construção 4.0 não está sendo amplamente adotada, no item 3.1 identificaram-se dez categorias que interferem nessa adoção: Capacidade das tecnologias, Cultura organizacional, Padronização, Integração entre tecnologias, Investimento financeiro, Obsolescência, Qualificação profissional, Cibersegurança e Privacidade, Legislação e regulamentação e Políticas Públicas e Setoriais.

Em relação à literatura especializada, os desafios encontrados para a adoção das tecnologias 4.0 são: hesitação em adotar, alto custo de implementação, necessidade de competências aprimoradas, falta de padrões, requisitos mais altos para equipamentos de computação, segurança e proteção de dados, aprimoramento das redes de comunicação existentes, incerteza legal e contratual (Dinmohammadi, 2023; Jan *et al.*, 2023; Oesterreich; Teuteberg, 2016), bem como a falta de colaboração e de compartilhamento de informações, atrasos nos pagamentos no contexto do uso de tecnologias digitais como o *blockchain* (Li; Greenwood; Kassem, 2019). Ao relacionar as categorias identificadas nesta pesquisa, destaca-se que as dimensões de Integração entre as tecnologias, Obsolescência e Políticas públicas e Setoriais emergem como contribuições à literatura sobre a adoção da Indústria 4.0 na construção civil tanto em relação aos desafios, quanto às soluções.

Em relação às soluções, poucos dados foram encontrados para esse fim. A categoria de Obsolescência, por exemplo, não obteve nenhum dado sobre as soluções. Isso sugere que a indústria da construção ainda tem um longo caminho a percorrer para aproveitar completamente o potencial das tecnologias associadas à Indústria 4.0.

As subcategorias também foram um objetivo a ser alcançado nesta pesquisa, como observado no item 3.2. Adicionalmente, em relação ao que traz a literatura especializada, há fatores que influenciam o desempenho de uma empresa de construção como: pessoas, capital, energia, material, ferramentas/equipamentos, ambiente interno e ambiente externo (Thomas *et al.*, 1990), modelos de negócios adequados ao contexto das operações digitais (Li; Greenwood; Kassem, 2019), formas de contratação (Ahmadisheykhsarmast; Sonmez, 2020; Budayan; Okudan, 2023; Hamledari; Fischer, 2021b, 2021a), cadeia de suprimentos (Barbosa

et al., 2017; Chen *et al.*, 2020; Ibem; Laryea, 2014; Sawant; Joshi; Menon, 2022; Xue *et al.*, 2007) e processo de projeto (Leoto; Lizarralde, 2019; Liu *et al.*, 2019; Panteli; Kylili; Fokaides, 2020; Piroozfar *et al.*, 2019).

Assim, o Quadro 9 relaciona as subcategorias desta pesquisa com os fatores encontrados na literatura especializada, a fim de deixar claro as contribuições e sugestões futuras.

Quadro 9 - Relação subcategorias com fatores da literatura especializada

FATORES	SUBCATEGORIAS	CATEGORIAS
Pessoas	Usuários das tecnologias	Cibersegurança e Privacidade
	Obsolescência humana	Obsolescência
	Funcionários das empresas	Cultura Organizacional
	Direção das empresas	Cultura Organizacional
	Capacitação profissional	Investimento financeiro
	Vinculadas à Produção	Qualificação profissional
	Apoio à produção	Qualificação profissional
Capital	Compra de novas tecnologias 4.0	Investimento financeiro
	Manutenção das tecnologias 4.0	Investimento financeiro
	Incentivos financeiro	Investimento financeiro
Ambiente interno	Empresas	Cibersegurança e Privacidade
	Dentro das empresas	Padronização
	Padrões para as empresas	Legislação e regulamentação
Ambiente externo	Entre empresas	Padronização
	Normas para as tecnologias 4.0	Legislação e regulamentação
	Padrões internacionais	Legislação e regulamentação
	Apoio governamental	Políticas Públicas e Setoriais

FATORES	SUBCATEGORIAS	CATEGORIAS
	Contexto de cada país	Políticas Públicas e Setoriais
	Definição de diretrizes	Políticas Públicas e Setoriais
	Padronização internacional	Padronização
	Legislações internacionais	Legislação e regulamentação
	Infraestrutura	Capacidade das tecnologias
	Conectividade à Internet	Capacidade das tecnologias
	Tecnologias inteligentes	Integração entre tecnologias
	Obsolescência tecnológica	Obsolescência
Infraestrutura Tecnológica	Tecnologias 4.0 e tradicionais	Integração entre tecnologias
	Diferentes tipos de dados	Integração entre tecnologias
	Capacidade computacional	Capacidade das tecnologias
Energia, Formas de contratação, Material, Cadeia de suprimentos, Ferramenta/equipamento, Processos de projeto, Modelos de negócios	-	-

Fonte: a autora

Ao relacionar esses fatores com as subcategorias desta pesquisa, nota-se que o fator Infraestrutura Tecnológica emerge como contribuição à literatura. Ademais, também destaca-se que os fatores Energia, Material, Ferramentas/Equipamentos, Formas de contratação, Modelos de negócio e Cadeia de suprimentos são trazidos pela literatura especializada, porém não foram identificados neste trabalho. Isto pode se dever, em parte, às limitações de pesquisa, já que o foco do estudo é a transformação digital da Construção 4.0, além de trazer os resultados vinculados com a Revisão Sistemática de Literatura. No entanto, é notável que aspectos como a cadeia de suprimentos, formas de contratação e processo de projeto não tenham sido identificados nos artigos avaliados, uma vez que a literatura

acadêmica e de mercado destaca a necessidade de integração da cadeia de valor, que inclui esses termos (De Almeida; Solas, 2016; Lund *et al.*, 2021; Nowotarski; Paslawski, 2017; Schwab; Zahidi, 2020; Zabidin; Belayutham; Ibrahim, 2020).

Em relação à cadeia de suprimentos, a preocupação passa pela integração, colaboração e desenvolvimento relacionamentos entre os agentes (Chen *et al.*, 2020; Hu *et al.*, 2019), tais como proprietários, projetistas, construtoras, subempreiteiras e fornecedores (Xue *et al.*, 2007), visando o aumento da eficiência das suas operações conjuntas. Koolwijk *et al.*, (2018) afirmam que, para integrar a cadeia de suprimentos, é essencial promover a colaboração entre os agentes, incluir todos na tomada de decisões, integrar financeiramente e melhorar o compartilhamento de informações. Segundo eles, a escolha de modalidades de contratação integradas, como o modelo projeto-construção (design-build), é fundamental para alcançar essa integração.

Com relação às formas de contratação, a literatura destaca que os chamados “contratos inteligentes” (*smart contracts*) têm o potencial de resolver os problemas da contratação tradicional mediante a automatização da gestão dos contratos (Budayan; Okudan, 2023). Porém, estes autores atribuem a sua limitada aceitação a desafios como a falta de um vínculo confiável entre os mundos físicos e digitais, a necessidade de implementar um ecossistema entre as partes interessadas e o receio de perda do poder de barganha entre as estas partes, dentre outros. Um benefício deste tipo de contratação é a desintermediação de processos, como por exemplo, de pagamentos, que incluem atividades manuais e altamente interdependentes em torno do seu preparo, revisão, aprovação e execução (Hamledari; Fischer, 2021). Neste sentido, contratos inteligentes provém plataformas seguras, eficientes e confiáveis para pagamentos seguros que dispensam da intermediação de advogados ou bancos (Ahmadisheykhsarmast; Sonmez, 2020), diminuindo os riscos no processo de pagamentos aos quais as partes interessadas se encontram expostos (Hamledari; Fischer, 2021).

Estas formas relacionais afetam também o processo de projeto. Panteli; Kylili; Fokaides, (2020), destacam a característica integradora do BIM com relação a ser um repositório das informações vinculadas com os diferentes agentes atuantes e etapas (projeto, execução e operação) do ciclo de vida das obras. Nesse sentido, tais autores destacam a necessidade de encorajar os projetistas a adquirirem maior controle no processo de projetos para enriquecer o modelo de informações que lhes permitam realizar diferentes análises e escolhas de projeto, como por exemplo otimizar aspectos ambientais das obras.

Neste sentido, um dos objetivos desta característica integradora é a transformação da maneira em que os edifícios são concebidos, projetados, construídos, entregues, operados, geridos, mantidos, renovados, desconstruídos e reciclados (Piroozfar *et al.*, 2019). No entanto, essa transformação pode causar tensões entre a colaboração necessária e a eficiência do processo de projetos, entre os objetivos de curto e longo prazo, bem como entre práticas de projeto tradicionais e as consideradas integradoras (Leoto; Lizarralde, 2019).

Já em relação aos resultados da Análise PESTEL realizada neste estudo, observou-se uma predominância dos aspectos social e tecnológico nos desafios identificados, enquanto os aspectos político e econômico foram mais recorrentes nas soluções propostas. No entanto, é importante notar que tanto o aspecto legal quanto o ambiental não tiveram papel de destaque. Porém, a literatura traz questões como o alto consumo de energia por tecnologias específicas (Dakhli; Lafhaj; Mossman, 2019; Perera *et al.*, 2020), que não foram abordadas nesta revisão sistemática, por exemplo, e que iriam interferir nesses aspectos. Dessa forma, pode-se indicar a necessidade de uma complementação futura para abordar essas particularidades de forma mais abrangente.

Ademais, é relevante considerar o impacto das políticas governamentais e regulamentações ambientais que estão em constante evolução e que podem afetar significativamente o setor de construção. Por exemplo, as políticas de incentivo para construções sustentáveis e o uso de materiais *eco-friendly* podem alterar a dinâmica do mercado e introduzir novos desafios e oportunidades para as empresas (Sambucci; Sibai; Valente, 2021; Silva *et al.*, 2020). A falta de destaque para esses aspectos na revisão sugere uma lacuna importante que deve ser preenchida em futuras pesquisas.

4. CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo identificar os desafios para a adoção das tecnologias e práticas da Construção 4.0, com foco nos aspectos relacionados à transformação digital da Indústria 4.0. Para isso, foi realizada uma revisão sistemática da literatura, na qual trinta e sete documentos foram selecionados para leitura completa, após o cumprimento dos critérios estabelecidos.

A partir desses documentos, coletaram-se trechos que identificavam os desafios relacionados à adoção das tecnologias da Construção 4.0, bem como possíveis soluções. Esses trechos foram agrupados e categorizados, resultando nas seguintes categorias: Capacidade das tecnologias, Cultura organizacional, Padronização, Integração entre tecnologias, Investimento financeiro, Obsolescência, Qualificação profissional, Cibersegurança e Privacidade, Legislação e regulamentação, e Políticas Públicas e Setoriais.

Com base nessas categorias, analisaram-se subcategorias, comparando-as com os fatores internos e externos às empresas do setor descritos na literatura. Além disso, uma análise PESTEL foi realizada tanto para os desafios quanto para as soluções, revelando a complexidade e interconexão dos fatores que afetam a adoção da Indústria 4.0 na construção civil. Especificamente, essa complexidade e interconexão se manifestam na necessidade de abordar simultaneamente questões tecnológicas, organizacionais, econômicas, políticas, sociais, legais e ambientais, onde cada fator influencia e é influenciado pelos demais, criando um cenário dinâmico e multifacetado para a adoção da Indústria 4.0 na construção civil. Diante disso, foi observado uma predominância dos aspectos social e tecnológico nos desafios identificados, enquanto os aspectos político e econômico foram mais recorrentes nas soluções propostas.

Em suma, esse trabalho contribuiu para o conhecimento dos desafios e soluções relacionados à adoção das tecnologias da Construção 4.0, identificando categorias, subcategorias e relacionando-as aos fatores internos e externos de empresas do setor da construção. Especificamente, ao comparar as categorias encontradas com as já existentes na literatura, observou-se que as categorias Integração entre tecnologias, Obsolescência e Políticas públicas e Setoriais surgiram como contribuições para o conhecimento sobre a adoção da Indústria 4.0 na construção civil.

Ademais, ao comparar as subcategorias com os fatores que influenciam uma empresa da indústria da construção já existentes na literatura, notou-se que o fator “Infraestrutura Tecnológica” também surgiu como contribuição. Ao reconhecer e compreender essas

relações, as empresas podem se preparar melhor para enfrentar os desafios e aproveitar as oportunidades proporcionadas pela transformação digital no setor da construção.

É importante ressaltar que este trabalho se limitou a uma revisão sistemática da literatura. Portanto, sugere-se como futuras pesquisas a coleta de dados junto às empresas do setor da construção para comparar os resultados teóricos com os resultados práticos. Além disso, considerando que a Construção 4.0 é definida pelos conceitos de digitalização, servitização e construção *offsite*, e que este trabalho abordou apenas a transformação digital, sugere-se que trabalhos futuros abordem os desafios e soluções da Construção 4.0 em relação aos outros conceitos. Dessa forma, para o entendimento completo dos impactos da Indústria 4.0 no setor da construção, tanto os aspectos digitais (conforme discutido neste trabalho), quanto os aspectos físicos devem ser avaliados em conjunto.

Nesse sentido, também sugere-se uma complementação em relação aos fatores Energia, Material, Ferramentas/Equipamentos, Formas de contratação, Processos de projeto e Cadeia de suprimento, que são trazidos pela literatura especializada, porém não foram tratados neste trabalho. Além disso, sugere-se pesquisar sobre como os países estão se preparando para adotar as tecnologias da Indústria 4.0 no setor da construção.

Também é recomendado, futuramente, coletar novos dados sobre as soluções para os desafios encontrados, especialmente para a categoria "Obsolescência", que não apresentou nenhuma informação sobre possíveis soluções. Por fim, sugere-se a investigação de novas categorias relacionadas ao tema, com questões sobre a sustentabilidade, por exemplo, considerando fatores como a pegada de carbono e a gestão de resíduos.

REFERÊNCIAS

ABDUL NABI, Mohamad; EL-ADAWAY, Islam H. Modular Construction: Determining Decision-Making Factors and Future Research Needs. **Journal of Management in Engineering**, [s. l.], v. 36, n. 6, p. 04020085, 2020.

ABRAMAT. **Perfil da cadeia da construção e da indústria de materiais e equipamentos Ed. 2022**. [S. l.], 2022. Disponível em: https://abramat.org.br/wp-content/uploads/2023/03/Perfil-da-Cadeia-resumo-2022_c-serie-5-anos-v2.pdf. Acesso em: 25 fev. 2023.

ABRAMAT. **Perfil da Cadeia Produtiva da Construção Civil. Ed. 2023**. [S. l.], 2023. Disponível em: <https://abramat.org.br/wp-content/uploads/2023/10/Perfil-da-Cadeia-Produtiva-da-Ind-da-Construcao-2023-Membros-1.pdf>. Acesso em: 5 maio 2024.

AHMADISHEYKHSARMAST, Salar; SONMEZ, Rifat. A smart contract system for security of payment of construction contracts. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 120, p. 103401, 2020.

ALAREFI, M. Adoption of IoT by telecommunication companies in GCC: The role of blockchain. **Decision Science Letters**, [s. l.], v. 12, n. 1, p. 55–68, 2023.

ALMARRI, Khalid; BOUSSABAIN, Halim; AL NAUIMI, Hamad. The influence of risks on the outturn cost of ICT infrastructure network projects. **Construction Innovation**, [s. l.], v. 23, n. 1, p. 85–104, 2021.

AL-OMARI, Rawan *et al.* Barriers to the Adoption of Digitalization in the Construction Industry: Perspectives of Owners, Consultants, and Contractors. **Construction Economics and Building**, [s. l.], v. 23, n. 3/4, 2023. Disponível em: <https://epress.lib.uts.edu.au/journals/index.php/AJCEB/article/view/8636>. Acesso em: 24 maio 2024.

ÁLVAREZ, Laureano; DE REYNA, Galo. **Construction Predictions 2020 | Deloitte Central Europe**. [S. l.]: Deloitte Touche Tohmatsu Limited, 2020. Disponível em: <https://www2.deloitte.com/ce/en/pages/real-estate/articles/construction-predictions-2020.html>. Acesso em: 7 dez. 2022.

ARORA, Nidhi *et al.* **Construction and building technology: Poised for a breakthrough? McKinsey & Company**. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/industries/advanced-electronics/our-insights/construction-and-building-technology-poised-for-a-breakthrough>. Acesso em: 10 set. 2021.

ATTARAN, Mohsen; CELIK, Bilge Gokhan. Digital Twin: Benefits, use cases, challenges, and opportunities. **Decision Analytics Journal**, [s. l.], v. 6, p. 100165, 2023.

BARBOSA, Filipe *et al.* **Reinventing construction: A route to higher productivity**. [S. l.]: McKinsey Global Institute, 2017. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/reinventing-construction-through-a-productivity-revolution>. Acesso em: 8 jul. 2020.

BAÚ, Gabriela. **Construções modulares: Mapeamento do processo executivo de edificações em chassi de aço**. 2021. TCC (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico,

Engenharia Civil, Florianópolis, Brasil, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/223394>. Acesso em: 6 jun. 2021.

BAZAN, Patricia; ESTEVEZ, Elsa. Industry 4.0 and business process management: state of the art and new challenges. **Business Process Management Journal**, [s. l.], v. 28, n. 1, p. 62–80, 2021.

BERTRAM, N. *et al.* **Modular construction: From projects to products**. [S. l.]: McKinsey & Company: Capital Projects & Infrastructure, 2019. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/industries/capital-projects-and-infrastructure/our-insights/modular-construction-from-projects-to-products>. Acesso em: 8 jul. 2020.

BETIATTO, Pâmela. **Perfil de inovação dos serviços ofertados por Construtechs brasileiras**. 2021. TCC (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Engenharia Civil, Florianópolis, Brasil, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/223397>. Acesso em: 6 jun. 2021.

BRASIL. **Lei do Bem**. Institui o Regime Especial de Tributação para a Plataforma de Exportação de Serviços de Tecnologia da Informação - REPES, o Regime Especial de Aquisição de Bens de Capital para Empresas Exportadoras - RECAP. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/lei/111196.htm. Acesso em: 24 maio 2024.

BRYMAN, Alan. **Social research methods**. 4th eded. Oxford ; New York: Oxford University Press, 2012.

BUDAYAN, Cenk; OKUDAN, Ozan. Assessment of Barriers to the Implementation of Smart Contracts in Construction Projects—Evidence from Turkey. **Buildings**, [s. l.], v. 13, n. 8, p. 2084, 2023.

CALVETTI, Diego *et al.* Worker 4.0: The Future of Sensored Construction Sites. **Buildings**, [s. l.], v. 10, n. 10, p. 169, 2020.

CARSON, Kathleen. Digitalization & Automation in the Construction Trades. *In*: SEATTLE JOBS INITIATIVE. 3 out. 2020. Disponível em: <https://www.seattlejobsinitiative.com/digitalization-automation-in-the-construction-trades/>. Acesso em: 2 mar. 2021.

CASTAGNOLI, Rebecca *et al.* Evolution of industry 4.0 and international business: A systematic literature review and a research agenda. **European Management Journal**, [s. l.], v. 40, n. 4, p. 572–589, 2022.

CHEN, Qian *et al.* Identifying enablers for coordination across construction supply chain processes: a systematic literature review. **Engineering, Construction and Architectural Management**, [s. l.], v. ahead-of-print, n. ahead-of-print, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/ECAM-05-2020-0299>. Acesso em: 28 fev. 2021.

CIAMPA, Elena; VITO, Luca De; PECCE, Maria Rosaria. Practical issues on the use of drones for construction inspections. **Journal of Physics: Conference Series**, [s. l.], v. 1249, n. 1, p. 012016, 2019.

CRAVEIRO, Flávio *et al.* Additive manufacturing as an enabling technology for digital construction: A perspective on Construction 4.0. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 103, p. 251–267, 2019.

ČUSTOVIĆ, Irfan; CAO, Jianpeng; HALL, Daniel M. Cloud manufacturing for industrialized construction: Opportunities and challenges for a new manufacturing model. **Journal of Infrastructure Intelligence and Resilience**, [s. l.], v. 2, n. 1, p. 100027, 2023.

DAKHLI, Zakaria; LAFHAJ, Zoubeir; MOSSMAN, Alan. The Potential of Blockchain in Building Construction. **Buildings**, [s. l.], v. 9, n. 4, p. 77, 2019.

DALLASEGA, Patrick; RAUCH, Erwin; LINDER, Christian. Industry 4.0 as an enabler of proximity for construction supply chains: A systematic literature review. **Computers in Industry**, [s. l.], v. 99, p. 205–225, 2018.

DE ALMEIDA BARBOSA FRANCO, Jacqueline *et al.* Sustainability in the Civil Construction Sector Supported by Industry 4.0 Technologies: Challenges and Opportunities. **Infrastructures**, [s. l.], v. 7, n. 3, p. 43, 2022.

DE ALMEIDA, Pedro Rodrigues; SOLAS, Manuel Zafra. **Shaping the future of construction: A Breakthrough in Mindset and Technology**. [S. l.]: World Economic Forum, 2016. Disponível em: <https://www.weforum.org/projects/future-of-construction/>. Acesso em: 2 maio 2019.

DE-LA-TORRE-UGARTE-GUANILO, Mônica Cecilia; TAKAHASHI, Renata Ferreira; BERTOLOZZI, Maria Rita. Revisão sistemática: noções gerais. **Revista da Escola de Enfermagem da USP**, [s. l.], v. 45, n. 5, p. 1260–1266, 2011.

DEMIRKESEN, Sevilay; TEZEL, Algan. Investigating major challenges for industry 4.0 adoption among construction companies. **Engineering, Construction and Architectural Management**, [s. l.], v. ahead-of-print, n. ahead-of-print, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/ECAM-12-2020-1059>. Acesso em: 16 dez. 2021.

DINMOHAMMADI, Fateme. Adopting Artificial Intelligence in Industry 4.0: Understanding the Drivers, Barriers and Technology Trends. *In*: 2023 28TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON AUTOMATION AND COMPUTING (ICAC), 2023. **2023 28th International Conference on Automation and Computing (ICAC)**. [S. l.: s. n.], 2023. p. 01–06. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10275230>. Acesso em: 28 fev. 2024.

DOLLA, Tharun; JAIN, Karuna; DELHI, Venkata Santosh Kumar. Strategies for digital transformation in construction projects: stakeholders' perceptions and actor dynamics for Industry 4.0. **Journal of Information Technology in Construction (ITcon)**, [s. l.], v. 28, n. 8, p. 151–175, 2023.

ELGHAISH, Faris *et al.* Applications of Industry 4.0 digital technologies towards a construction circular economy: gap analysis and conceptual framework. **Construction Innovation**, [s. l.], v. 22, n. 3, p. 647–670, 2022.

FORCAEL, Eric *et al.* Construction 4.0: A Literature Review. **Sustainability**, [s. l.], v. 12, n. 22, p. 9755, 2020.

FRANK, Alejandro G. *et al.* Servitization and Industry 4.0 convergence in the digital transformation of product firms: A business model innovation perspective. **Technological Forecasting and Social Change**, [s. l.], v. 141, p. 341–351, 2019.

GÁLVEZ-MARTOS, José-Luis *et al.* Construction and demolition waste best management practice in Europe. **Resources, Conservation and Recycling**, [s. l.], v. 136, p. 166–178, 2018.

GAO, Shang; LOW, Sui Pheng. The Last Planner System in China's construction industry — A SWOT analysis on implementation. **International Journal of Project Management**, [s. l.], v. 32, n. 7, p. 1260–1272, 2014.

GARCÍA DE SOTO, Borja *et al.* Understanding the Significance of Cybersecurity in the Construction Industry: Survey Findings. **Journal of Construction Engineering and Management**, [s. l.], v. 148, n. 9, p. 04022095, 2022.

GERBERT, Philipp *et al.* **Digital in Engineering and Construction: The transformative Power of Building Information Modeling**. Boston, USA: The Boston Consulting Group Inc., 2016.

GERHARD, Girmscheid. Industrialization in Building Construction: Production Technology or Management Concept?. *In*: INDUSTRIALIZATION IN BUILDING CONSTRUCTION, 2005, Helsinki (Finland). **Proceedings of the 11th Joint CIB International Symposium: Combining Forces - Advancing Facilities Management and Construction through Innovation**. Helsinki (Finland): CIB - International Council for Research and Innovation in Building and Construction, 2005. Disponível em: <http://hdl.handle.net/20.500.11850/69693>. Acesso em: 4 ago. 2022.

GUO, Xin; ZHANG, Geng; ZHANG, Yingfeng. A Comprehensive Review of Blockchain Technology-Enabled Smart Manufacturing: A Framework, Challenges and Future Research Directions. **Sensors**, [s. l.], v. 23, n. 1, p. 155, 2023.

HAMLEDARI, Hesam; FISCHER, Martin. Construction payment automation using blockchain-enabled smart contracts and robotic reality capture technologies. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 132, p. 103926, 2021a.

HAMLEDARI, Hesam; FISCHER, Martin. Role of Blockchain-Enabled Smart Contracts in Automating Construction Progress Payments. **Journal of Legal Affairs and Dispute Resolution in Engineering and Construction**, [s. l.], v. 13, n. 1, p. 04520038, 2021b.

HAWERROTH, Amanda. **Tendências vinculadas com a Construção 4.0 sob a perspectiva de relatórios de mercado**. 2022. TCC (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Engenharia Civil, Florianópolis, Brasil, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/243176>. Acesso em: 21 dez. 2022.

HAYAT, Haroun; RÉDA, Ghomari Abdessamed. An IoT and spatial Big data based architecture for monitoring Occupational Health Risks exposure. *In*: 2022 FIRST INTERNATIONAL CONFERENCE ON BIG DATA, IOT, WEB INTELLIGENCE AND APPLICATIONS (BIWA), 2022. **2022 First International Conference on Big Data, IoT, Web Intelligence and Applications (BIWA)**. [S. l.: s. n.], 2022. p. 13–18.

HOSSAIN, Aslam; NADEEM, Abid. Towards digitizing the construction industry: state of the art of construction 4.0. *In*: , 2019. **Proc. of the International Structural Engineering and Construction**. [S. l.]: ISEC Press, 2019. Disponível em: https://www.isec-society.org/ISEC_PRESS/ISEC_10/html/CON-13.xml. Acesso em: 23 dez. 2022.

HU, Xin *et al.* Understanding Stakeholders in Off-Site Manufacturing: A Literature Review. **Journal of Construction Engineering and Management**, [s. l.], v. 145, n. 8, p. 03119003, 2019.

IBEM, Eziyi O.; LARYEA, Samuel. Survey of digital technologies in procurement of construction projects. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 46, p. 11–21, 2014.

JAN, Zohaib *et al.* Artificial intelligence for industry 4.0: Systematic review of applications, challenges, and opportunities. **Expert Systems with Applications**, [s. l.], v. 216, p. 119456, 2023.

JANSEN VAN VUUREN, Tercia; MIDDLETON, Campbell. **Methodology for quantifying the benefits of offsite construction**. [S. l.]: CIRIA, 2020. Disponível em: <https://www.repository.cam.ac.uk/handle/1810/317071>. Acesso em: 10 jun. 2024.

JIANG, Rui *et al.* A SWOT analysis for promoting off-site construction under the backdrop of China's new urbanisation. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 173, p. 225–234, 2018.

JIN, Xin *et al.* Influence of policies on stakeholders to drive the success of modular integrated construction in Hong Kong. **Engineering, Construction and Architectural Management**, [s. l.], v. ahead-of-print, n. ahead-of-print, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/ECAM-07-2023-0740>. Acesso em: 7 maio 2024.

KAMALI, Mohammad; HEWAGE, Kasun. Life cycle performance of modular buildings: A critical review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 62, p. 1171–1183, 2016.

KLINC, Robert; TURK, Žiga. Construction 4.0 – Digital Transformation of One of the Oldest Industries. **Economic and Business Review**, [s. l.], v. 21, n. 3, 2019. Disponível em: <https://www.ebrjournal.net/home/vol21/iss3/4>.

KOOLWIJK, Jelle Simon Jowan *et al.* Collaboration and Integration in Project-Based Supply Chains in the Construction Industry. **Journal of Management in Engineering**, [s. l.], v. 34, n. 3, p. 04018001, 2018.

KORDESTANI GHALEHNOEI, Nazanin *et al.* Challenges of offsite construction and BIM implementation: providing a framework for integration in New Zealand. **Smart and Sustainable Built Environment**, [s. l.], 2022.

KOZLOVSKA, Maria; KLOSOVA, Daria; STRUKOVA, Zuzana. Impact of Industry 4.0 Platform on the Formation of Construction 4.0 Concept: A Literature Review. **Sustainability**, [s. l.], v. 13, n. 5, p. 2683, 2021.

KUYVEN, Tainara; OLIVEIRA, Tarcisio Dorn de. SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL E OS RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL (RCC): MAPEAMENTO DO DESCARTE ILEGAL DE RCC NO MUNICÍPIO DE IJUÍ - RS/Environmental sustainability and civil construction waste (RCC): mapping of illegal RCC disposal in the municipality of Ijuí/RS. **Informe GEPEC**, [s. l.], v. 27, n. 2, p. 158–183, 2023.

LABARAN, Yahaya Hassan *et al.* Carbon footprint management: A review of construction industry. **Cleaner Engineering and Technology**, [s. l.], v. 9, p. 100531, 2022.

LAU, S. E. N. *et al.* Review: Identification of roadmap of fourth construction industrial revolution. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, [s. l.], v. 615, p. 012029, 2019.

LEOTO, Ricardo; LIZARRALDE, Gonzalo. Challenges for integrated design (ID) in sustainable buildings. **Construction Management and Economics**, [s. l.], v. 37, n. 11, p. 625–642, 2019.

LI, Jennifer; GREENWOOD, David; KASSEM, Mohamad. Blockchain in the built environment and construction industry: A systematic review, conceptual models and practical use cases. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 102, p. 288–307, 2019.

LIU, Hexu *et al.* Towards sustainable construction: BIM-enabled design and planning of roof sheathing installation for prefabricated buildings. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 235, p. 1189–1201, 2019.

LU, Weisheng. Improved SWOT Approach for Conducting Strategic Planning in the Construction Industry. **Journal of Construction Engineering and Management**, [s. l.], v. 136, n. 12, p. 1317–1328, 2010.

LUND, Susan *et al.* **The future of work after COVID-19**. [S. l.]: McKinsey Global Institute, 2021. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/featured-insights/future-of-work/the-future-of-work-after-covid-19>. Acesso em: 20 fev. 2021.

MADIGAN, David. **A SWOT Analysis of the UK Civil Engineering Industry**. ACI/DLV/ 96/014. [S. l.]: School of Management. University of Bath., 1997. Disponível em: http://www.bath.ac.uk/management/larg_agile/publications/pdf/public/96.014.300.pdf. Acesso em: 17 jun. 2016.

MAQBOOL, Rashid; SAIBA, Mohammed Rayan; ASHFAQ, Saleha. Emerging industry 4.0 and Internet of Things (IoT) technologies in the Ghanaian construction industry: sustainability, implementation challenges, and benefits. **Environmental Science and Pollution Research**, [s. l.], v. 30, n. 13, p. 37076–37091, 2023.

MARQUES, Andreza. **Perspectivas de utilização do Metaverso na construção civil**. 2023. 74 f. TCC (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Engenharia Civil, Florianópolis, Brasil, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/253306>. Acesso em: 15 dez. 2023.

MASKURIY, Raihan *et al.* Industry 4.0 for the Construction Industry: Review of Management Perspective. **Economies**, [s. l.], v. 7, n. 3, p. 1–14, 2019.

MEISELS, Michelle *et al.* **The future of the construction industry: Preparing for fundamental shifts in connected construction**. [S. l.]: Deloitte Touche Tohmatsu Limited, 2021. Disponível em: <https://www2.deloitte.com/us/en/pages/energy-and-resources/articles/future-of-construction-industry.html>. Acesso em: 5 dez. 2022.

MENEGHELLO, Francesca *et al.* IoT: Internet of Threats? A Survey of Practical Security Vulnerabilities in Real IoT Devices. **IEEE Internet of Things Journal**, [s. l.], v. 6, n. 5, p. 8182–8201, 2019.

NAGY, Orsolya; PAPP, Iлона; SZABÓ, Roland Zsolt. Construction 4.0 Organisational Level Challenges and Solutions. **Sustainability**, [s. l.], v. 13, n. 21, p. 12321, 2021.

NIGAM, Vivek; TALCOTT, Carolyn. Automated Construction of Security Integrity Wrappers for Industry 4.0 Applications. **Journal of Logical and Algebraic Methods in Programming**, [s. l.], v. 126, p. 100745, 2022.

NOWOTARSKI, Piotr; PASLAWSKI, Jerzy. Industry 4.0 Concept Introduction into Construction SMEs. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, [s. l.], v. 245, p. 052043, 2017.

OESTERREICH, Thuy Duong; TEUTEBERG, Frank. Understanding the implications of digitisation

and automation in the context of Industry 4.0: A triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry. **Computers in Industry**, [s. l.], v. 83, p. 121–139, 2016.

OKOLI, Chitu; SCHABRAM, Kira. **A Guide to Conducting a Systematic Literature Review of Information Systems Research**. Rochester, NY: Social Science Research Network, 2010. SSRN Scholarly Paper. Disponível em: <http://papers.ssrn.com/abstract=1954824>. Acesso em: 1 jul. 2016.

OLANIPEKUN, Ayokunle O.; SUTRISNA, Monty. Facilitating Digital Transformation in Construction—A Systematic Review of the Current State of the Art. **Frontiers in Built Environment**, [s. l.], v. 7, p. 96, 2021.

OMRANY, Hossein *et al.* Digital Twins in the Construction Industry: A Comprehensive Review of Current Implementations, Enabling Technologies, and Future Directions. **Sustainability**, [s. l.], v. 15, n. 14, p. 10908, 2023.

OSUNSANMI, Temidayo Oluwasola *et al.* Appraisal of stakeholders' willingness to adopt construction 4.0 technologies for construction projects. **Built Environment Project and Asset Management**, [s. l.], v. 10, n. 4, p. 547–565, 2020.

OTI-SARPONG, Kwadwo *et al.* Transforming the construction sector: an institutional complexity perspective. **Construction Innovation**, [s. l.], v. 22, n. 2, p. 361–387, 2021.

OVIEDO HAITO, Ricardo Juan Jose. **Caracterização das empresas executoras de serviços de obras baseada nos seus ativos estratégicos**. 2010. text - Universidade de São Paulo, [s. l.], 2010. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-11082010-135918/>. Acesso em: 19 maio 2016.

OVIEDO-HAITO, Ricardo Juan José; MORATTI, Tathyana; CARDOSO, Francisco Ferreira. Desafios da gestão da produção na construção 4.0. *In*: XI SIBRAGEC & VIII ELAGEC 2019, 2019. **XI SIBRAGEC & VIII ELAGEC 2019**. [S. l.: s. n.], 2019. Disponível em: <https://www.antaceventos.net.br/index.php/sibragec/sibragec2019/paper/view/466>. Acesso em: 26 out. 2019.

PAN, Wei; CHEN, Le; ZHAN, Wenting. PESTEL Analysis of Construction Productivity Enhancement Strategies: A Case Study of Three Economies. **Journal of Management in Engineering**, [s. l.], v. 35, n. 1, p. 05018013, 2019.

PANTELI, Christiana; KYLILI, Angeliki; FOKAIDES, Paris A. Building information modelling applications in smart buildings: From design to commissioning and beyond A critical review. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 265, p. 121766, 2020.

PERERA, Srinath *et al.* Blockchain technology: Is it hype or real in the construction industry?. **Journal of Industrial Information Integration**, [s. l.], v. 17, p. 100125, 2020.

PINTI, Lidia; CODINHOTO, Ricardo; BONELLI, Serena. A Review of Building Information Modelling (BIM) for Facility Management (FM): Implementation in Public Organisations. **Buildings**, [s. l.], v. 12, n. 3, 2022. Disponível em: <http://www.scopus.com/inward/record.url?scp=85123761630&partnerID=8YFLogxK>. Acesso em: 24 maio 2024.

PIROOZFAR, Poorang *et al.* Configuration platform for customisation of design, manufacturing and

assembly processes of building façade systems: A building information modelling perspective. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 106, p. 102914, 2019.

PRABHAKAR, Vishnuprasad V; BELARMIN XAVIER, C. S.; ABUBEKER, K. M. A Review on Challenges and Solutions in the Implementation of Ai, IoT and Blockchain in Construction Industry. **Materials Today: Proceedings**, [s. l.], 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785323016024>. Acesso em: 28 fev. 2024.

RÊGO, Bruno Siano *et al.* Digital Transformation and Strategic Management: a Systematic Review of the Literature. **Journal of the Knowledge Economy**, [s. l.], v. 13, n. 4, p. 3195–3222, 2022.

REGONA, Massimo *et al.* Opportunities and Adoption Challenges of AI in the Construction Industry: A PRISMA Review. **Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity**, [s. l.], v. 8, n. 1, p. 45, 2022.

RIBEIRINHO, Maria João *et al.* **The next normal in construction: How disruption is reshaping the world's largest ecosystem**. [S. l.]: McKinsey & Company, 2020. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/the-next-normal-in-construction-how-disruption-is-reshaping-the-worlds-largest-ecosystem>. Acesso em: 28 jul. 2022.

RIBEIRO, Yanh *et al.* Information systems for construction 4.0: classification of contents for integration and interoperability – case study. *In: 2023 EUROPEAN CONFERENCE ON COMPUTING IN CONSTRUCTION AND THE 40TH INTERNATIONAL CIB W78 CONFERENCE*, 2023. **Anais [...]**. [S. l.: s. n.], 2023. Disponível em: https://ec-3.org/publications/conference/paper/?id=EC32023_289. Acesso em: 24 maio 2024.

ROBINSON, Graham; LEONARD, Jeremy; WHITTINGTON, Toby. **The Future of Construction**. London, UK: Oxford Economics, Marsh and Guy Carpenter, 2021. Disponível em: <https://www.marsh.com/us/industries/construction/insights/the-future-of-construction.html>. Acesso em: 16 dez. 2021.

ROWLINSON, Steve. The temporal nature of forces acting on innovative IT in major construction projects. **Construction Management and Economics**, [s. l.], v. 25, n. 3, p. 227–238, 2007.

SABBATINI, Fernando Henrique. **Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos: formulação e aplicação de uma metodologia**. 1989. 321 f. Tese (doutorado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-30082017-091328/>. Acesso em: 6 out. 2017.

SAMBUCCI, Matteo; SIBAI, Abbas; VALENTE, Marco. Recent Advances in Geopolymer Technology. A Potential Eco-Friendly Solution in the Construction Materials Industry: A Review. **Journal of Composites Science**, [s. l.], v. 5, n. 4, p. 109, 2021.

SAMPAIO, Rf; MANCINI, Mc. Estudos de revisão sistemática: um guia para síntese criteriosa da evidência científica. **Revista Brasileira de Fisioterapia**, [s. l.], v. 11, n. 1, p. 83–89, 2007.

SANTOS, Rúbia; PALADINI, Edson; JUNGLES, Antonio. A servitização como instrumento estratégico em um grupo empresarial da construção civil. *In:* , 2014. **Anais [...]**. [S. l.: s. n.], 2014. p. 1177–1185.

SAWANT, Rohan; JOSHI, Deepa A.; MENON, Radhika. Blockchain Technology in Construction

Supply Chain Management During Pandemic: A Bibliometric Analysis and Systematic Literature Review. *In: 2022 INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTING, COMMUNICATION, AND INTELLIGENT SYSTEMS (ICCCIS), 2022. 2022 International Conference on Computing, Communication, and Intelligent Systems (ICCCIS)*. [S. l.: s. n.], 2022. p. 421–428. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10037673>. Acesso em: 10 jun. 2024.

SAWHNEY, Anil; RILEY, Michael; IRIZARRY, Javier. **Construction 4.0: An Innovation Platform for the Built Environment**. [S. l.]: Routledge, 2020. Disponível em: <https://www.taylorfrancis.com/books/e/9780429398100>. Acesso em: 8 jul. 2020.

SCHNASSE, Felix; MENZEFRICKE, Jörn Steffen; DUMITRESCU, Roman. Identification of Socio-Technical Risks and Their Correlations in the Context of Digital Transformation for the Manufacturing Sector. *In: 2021 IEEE 8TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL ENGINEERING AND APPLICATIONS (ICIEA), 2021. 2021 IEEE 8th International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA)*. [S. l.: s. n.], 2021. p. 159–166.

SCHUH, Günther *et al.* **Industrie 4.0 Maturity Index – Managing the Digital Transformation of Companies**. [S. l.]: Acatech - National Academy of Science and Engineering, 2020. Disponível em: <https://en.acatech.de/publication/industrie-4-0-maturity-index-managing-the-digital-transformation-of-companies/>. Acesso em: 11 jun. 2022.

SCHWAB, Klaus; ZAHIDI, Saadia. **The Future of Jobs Report 2020**. [S. l.]: World Economic Forum, 2020. Disponível em: <https://www.weforum.org/reports/the-future-of-jobs-report-2020/>. Acesso em: 7 dez. 2022.

SEARS, S. Keoki; CLOUGH, Richard H.; SEARS, Glenn A. **Construction project management: a practical guide to field construction management**. 5th eded. Hoboken, N.J: John Wiley & Sons, 2008.

SHA, Kaixun; YANG, Jie; SONG, Ruiqian. Competitiveness assessment system for China's construction industry. **Building Research & Information**, [s. l.], v. 36, n. 1, p. 97–109, 2008.

SHARMA, Pratima; JINDAL, Rajni; BORAH, Malaya Dutta. A review of smart contract-based platforms, applications, and challenges. **Cluster Computing**, [s. l.], v. 26, n. 1, p. 395–421, 2023.

SILVA, Guido *et al.* Natural fibers as reinforcement additives for geopolymers – A review of potential eco-friendly applications to the construction industry. **Sustainable Materials and Technologies**, [s. l.], v. 23, p. e00132, 2020.

SINGH, Arpit *et al.* Identification and severity assessment of challenges in the adoption of industry 4.0 in Indian construction industry. **Asia Pacific Management Review**, [s. l.], v. 28, n. 3, p. 299–315, 2023.

SOUZA, Alex Sander Clemente de; DEBS, Luciana. Identifying Emerging Technologies and Skills Required for Construction 4.0. **Buildings**, [s. l.], v. 13, n. 10, p. 2535, 2023.

TAMVADA, Jagannadha Pawan *et al.* Adopting new technology is a distant dream? The risks of implementing Industry 4.0 in emerging economy SMEs. **Technological Forecasting and Social Change**, [s. l.], v. 185, p. 122088, 2022.

TANG, Llewellyn C. M.; ATKINSON, Ben; ZOU, Raymond Rui. An entropy-based SWOT

evaluation process of critical success factors for international market entry: a case study of a medium-sized consulting company. **Construction Management and Economics**, [s. l.], v. 30, n. 10, p. 821–834, 2012.

TEISSERENC B, SEPASGOZAR S. Adoption of Blockchain Technology through Digital Twins in the Construction Industry 4.0: A PESTELS Approach. **Buildings**. 2021; 11(12):670.

THOMAS, H. Randolph *et al.* Modeling Construction Labor Productivity. **Journal of Construction Engineering and Management**, [s. l.], v. 116, n. 4, p. 705–726, 1990.

TRUNG, Nguyen *et al.* Digital Transformation, AI Applications and IoTs in Blockchain Managing Commerce Secrets: And Cybersecurity Risk Solutions in the Era of Industry 4.0 and Further. **Webology**, [s. l.], v. 18, p. 453–465, 2021.

TURKYILMAZ, Ali *et al.* A Comprehensive Construction and Demolition Waste Management Model using PESTEL and 3R for Construction Companies Operating in Central Asia. **Sustainability**, [s. l.], v. 11, n. 6, p. 1593, 2019.

TURNER, C. J. *et al.* Utilizing Industry 4.0 on the Construction Site: Challenges and Opportunities. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, [s. l.], v. 17, n. 2, p. 746–756, 2021.

VIEITAS, Cássia Bruna Pinheiro. Planejamento estratégico na piscicultura: Um olhar sobre os fatores externos que influenciam a atividade no estado do Pará. [s. l.], 2023. Disponível em: <http://bdta.ufra.edu.br/jspui/handle/123456789/2865>. Acesso em: 17 maio 2024.

WANG, Ke *et al.* Analyzing the Adoption Challenges of the Internet of Things (IoT) and Artificial Intelligence (AI) for Smart Cities in China. **Sustainability**, [s. l.], v. 13, n. 19, p. 10983, 2021.

XUE, Xiaolong *et al.* Coordination mechanisms for construction supply chain management in the Internet environment. **International Journal of Project Management**, [s. l.], v. 25, n. 2, ICCREM 2005, the International Conference on Construction and Real Estate Management 2005, p. 150–157, 2007.

ZABIDIN, Nadia Safura; BELAYUTHAM, Sheila; IBRAHIM, Che Khairil Izam Che. A bibliometric and scientometric mapping of Industry 4.0 in construction. **Journal of Information Technology in Construction (ITcon)**, [s. l.], v. 25, n. 17, p. 287–307, 2020.

ZAVADSKAS, E. K.; TURSKIS, Z.; TAMOSAITIENE, J. Selection of construction enterprises management strategy based on the SWOT and multi-criteria analysis. **Archives of Civil and Mechanical Engineering**, [s. l.], v. 11, n. 4, p. 1063–1082, 2011.

ZENG, S. X.; CHEN, H. M.; TAM, C. M. Market Structure of the Construction Industry of China. **Architectural Science Review**, [s. l.], v. 48, n. 4, p. 367–375, 2005.

ZHANG, Jingxiao *et al.* A critical review of the current research mainstreams and the influencing factors of green total factor productivity. **Environmental Science and Pollution Research**, [s. l.], v. 28, n. 27, p. 35392–35405, 2021.

ZHDANEEV, O. V.; KORENEV, V. V.; LYADOV, A. S. Opportunities and Challenges to Deploy Industry 4.0 Technologies in the Russian Oil Refining and Petrochemical Industries. **Russian Journal of Applied Chemistry**, [s. l.], v. 93, n. 12, p. 1926–1930, 2020.

ZIMMERMANN, Joana. **Caracterização das fontes de vantagem competitiva vinculadas com a Construção 4.0**. 2022. TCC (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Engenharia Civil, Florianópolis, Brasil, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/243179>. Acesso em: 20 dez. 2022.

ME's may not adequately	As PME podem não investir adequadamente	roubo de tecnologia	Tecnológico/Legal	Cibersegurança e privacidade	Barreira	Wang et al. (2021)	Internet of things (Iot) and artificial	8
Data/system security	Segurança de dados/sistema	Segurança de dados/sistema	Tecnológico/Legal	Cibersegurança e Privacidade	Barreira	Andaneev et al. (2020)	Industry 4.0 Technologies in the Russian	5
reliability of a large amount of	confiabilidade de uma grande quantidade	Segurança	Tecnológico/Legal	Cibersegurança e Privacidade	Barreira	Regona et al. (2022)	Challenges of AI in the Construction	10
software and multilateral	de código aberto e soluções multilaterais	de código aberto e soluções multilaterais	Tecnológico/Legal	Cibersegurança e Privacidade	Solução	Jan et al. (2023)	0: Systematic review of applications	17
connecting their devices to the	onça associados à ligação dos seus dispositivos	lida experiência em segurança cibernética	Tecnológico/Legal	Cibersegurança e privacidade	Barreira	eneghello et al. (2019)	Survey of practical security vulnerabilities	1
difficult for actual copyright	de direitos proprietários de direitos autorais	dados é fácil de copiar e vazam, dificultando	Tecnológico/Legal	Cibersegurança e privacidade	Barreira	Trung et al. (2021)	Trading Commerce Secrets: A New	9
s found that privacy verification	se que a privacidade afetou a observação	percepção do indivíduo sobre a proteção	Tecnológico/legal/social	Cibersegurança e privacidade	Barreira	Alarefi (2023)	Communication companies in GCC	4
government documents, as	documentos governamentais e informações	cidadãos, documentos governamentais	Tecnológico/Legal/Social	Cibersegurança e privacidade	Barreira	Wang et al. (2021)	Internet of things (Iot) and artificial	9
everyday life. For example	que fazem parte do seu dia a dia. Por vezes	vezes não tem conhecimento dos problemas	Tecnológico/Legal/Social	Cibersegurança e privacidade	Barreira	eneghello et al. (2019)	Survey of practical security vulnerabilities	15
the pre-installed software	positivos como, por exemplo, alterar a configuração	são muito informados em termos de desafios	Tecnológico/Legal/Social	Cibersegurança e privacidade	Barreira	eneghello et al. (2019)	Survey of practical security vulnerabilities	2
to convince them	desafio convê-los a mudar para métodos	mudam para métodos avançados de operação	Social	Cultura organizacional	Barreira	Singh et al. (2023)	Challenges in the adoption of internet	8
might slow their implementation	atrasar a sua implementação no desenvolvimento	A falta de confiança	Social	Cultura organizacional	Barreira	Wang et al. (2021)	Internet of things (Iot) and artificial	13
businesses to move	IA exige que as empresas se afastem das ideias	afastar-se das ideias tradicionais	Social	Cultura organizacional	Barreira	Regona et al. (2022)	Challenges of AI in the Construction	10
er. I4.0 requires change	No entanto, a I4.0 exige mudanças, o que	servador em termos de abraçar a mudança	Social	Cultura organizacional	Barreira	mirkesen, Tezel (2020)	es for industry 4.0 adoption and	6
technology is still nascent	A tecnologia de IA ainda é incipiente, a	A tecnologia de IA ainda é incipiente	Social	Cultura organizacional	Barreira	innmohammadi (2023)	Industry 4.0: Understanding the Digital	4
assistance from industry	Alta resistência dos órgãos da indústria	Alta resistência	Social	Cultura organizacional	Barreira	Regona et al. (2022)	Challenges of AI in the Construction	10
industry brand Low skills	da indústria Mão de obra pouco qualificada	da indústria Mão de obra pouco qualificada	Social	Cultura organizacional	Solução	Nagy et al. (2021)	Organisational level challenges	7
018; Ben-Daya et al. 2018; Ben-Daya et al., 2019;	Resistência interna	Resistência interna	Social	Cultura organizacional	Barreira	Wang et al. (2021)	Internet of things (Iot) and artificial	1
g cultural acceptance	ança a aceitação cultural das inovações	resistência organizacional	Social	Cultura organizacional	Barreira	Amvada et al. (2022)	Internet of things (Iot) and artificial	8
ce with machines, and	de trabalho por máquinas e o receio	resistência ao aprendizado	Social	Cultura organizacional	Barreira	Wang et al. (2021)	Internet of things (Iot) and artificial	4
ness among construction	scientização entre os trabalhadores da	Falta de consciência	Social	Cultura organizacional	Barreira	Jan et al. (2023)	0: Systematic review of applications	17
on to undergo radical	passar por mudanças radicais	esitação em passar por mudanças radicais	Social	Cultura organizacional	Barreira	Jan et al. (2023)	0: Systematic review of applications	17
impact on employee moti-	Impacto na moral dos funcionários;	moral do funcionário	Social	Cultura organizacional	Barreira	innmohammadi (2023)	Industry 4.0: Understanding the Digital	4
stage Human feeling	cias e mão de obra Sentimento humano	Questões geracionais	Social	Cultura organizacional	Barreira	Nagy et al. (2021)	Organisational level challenges	7
s. Presently, the I4.0	onstrução. Atualmente, os benefícios e o	ompleto da geração de valor para projetos	Social	Cultura organizacional	Barreira	mirkesen, Tezel (2020)	es for industry 4.0 adoption and	6
change, a lack of clarity	a relutância em mudar, a falta de clareza	relutância em mudar	Social	Cultura organizacional	Barreira	Singh et al. (2023)	Challenges in the adoption of internet	4
de lack of sufficient	cluem a falta de conhecimentos suficientes	Falta de compreensão	Social	Cultura organizacional	Barreira	Singh et al. (2023)	Challenges in the adoption of internet	4
al resistance and corpor-	“resistência interna e cultura corporativa	resistência interna e cultura corporativa	Social	Cultura organizacional	Barreira	Wang et al. (2021)	Internet of things (Iot) and artificial	8
on firms to Industry	presas de construção para a Indústria 4.0	eminários, workshops e sessões de discussão	Social	Cultura organizacional	Solução	Singh et al. (2023)	Challenges in the adoption of internet	7
re of the organization	Resistência da cultura organizacional	Resistência da cultura organizacional	Social	Cultura organizacional	Barreira	Andaneev et al. (2020)	Industry 4.0 Technologies in the Russian	5
anizations always	miuados, as organizações sempre entendem	sempre entendem mal os benefícios de	Social	Cultura organizacional	Barreira	Wang et al. (2021)	Internet of things (Iot) and artificial	11
ake CI more attractive	Torne o IC mais atraente	Tome o IC mais atraente	Social	Cultura organizacional	Solução	Nagy et al. (2021)	Organisational level challenges	5
s strong and rigid	ela sua cultura forte e rígida, bem como	resistência a mudanças	Social	Cultura organizacional	Barreira	erreich, Teuteberg (2022)	Implications of digitisation and	3
ment rates. Neverth-	emprego mais elevadas. No entanto, a	ruir trabalhadores, resultando em taxas de	Social/Político	Cultura organizacional	Barreira	Regona et al. (2022)	Challenges of AI in the Construction	13
ty in fear of loss of	dade com medo de perder o emprego. In	aceitabilidade com medo de perder o e	Social/Político	Cultura organizacional	Barreira	rabhakar et al. (2023)	the Implementation of Ai, IoT	9
tight couplings in ind-	com acoplamentos fortes em projetos in	ução, bem como a natureza temporária	Social/Político	Integração das novas tecnologias	Barreira	erreich, Teuteberg (2022)	Implications of digitisation and	3
ses in which different	colaborativos nos quais diferentes	arquitecturas baseadas em nuvem	tecnológico	Integração das novas tecnologias	Solução	hazan, Estevez (2022)	process management: state of the	6
018; Ben-Daya et al. 2018; Ben-Daya et al., 2019;	uridade das tecnologias; integração de	tecnológico	tecnológico	Integração das novas tecnologias	Barreira	Wang et al. (2021)	Internet of things (Iot) and artificial	1
uring process	precisa garantir a precisão e a eficiência dos	Interoperabilidade	Tecnológico	Integração das novas tecnologias	Barreira	Maqbool et al. (2023)	s in the Ghanaian construction	5
. There is a need for	para a execução. Há necessidade de solu	grande quantidade de diferentes fontes de	Tecnológico	Integração das novas tecnologias	Barreira	Custovi et al. (2023)	Construction: Opportunities and	14
with existing systems	ração com sistemas existentes ou softw	ração com sistemas existentes ou softw	Tecnológico	Integração das novas tecnologias	Barreira	Attaran, Celik (2023)	enefits, use cases, challenges, a	8
holders [122]. There	de ser compartilhada entre as partes	erecem abordagens viáveis para enfre	Tecnológico	Integração das novas tecnologias	Solução	Omrany et al. (2023)	nsive review of current implem	17
framework will en-	taura da Indústria 4.0 implicarão mudan	mudanças no processo de execução	Tecnológico	Integração das novas tecnologias	Barreira	Singh et al. (2023)	Challenges in the adoption of in	7
r setting up new data	tores ou a criação de novos bancos de	competências dos funcionários	Tecnológico	Integração das novas tecnologias	Barreira	chnasse et al. (2021)	orrelations in the Context of D	1
one of the most	é um dos riscos que mais mudam n	de novas tecnologias com tecnologias	Tecnológico	Integração das novas tecnologias	Barreira	Almarr et al. (2023)	the outturn cost of ICT infrastr	5
o technical complexi-	cionados à complexidade técnica na int	ecnologias digitais com equipamentos	Tecnológico/Social	Integração das novas tecnologias	Barreira	Amvada et al. (2022)	Internet of things (Iot) and artificial	11
sed standards and ref-	es e estruturas de referência comumente	idade entre máquinas; comunicação entr	Tecnológico/Social	Integração das novas tecnologias	Barreira	Amvada et al. (2022)	Internet of things (Iot) and artificial	9
ciency. Low interdisci-	plinares. Baixa aprendizagem interdi	Baixa interdisciplinaridade	Tecnológico/Social	Integração das novas tecnologias	Barreira	rabhakar et al. (2023)	the Implementation of Ai, IoT	9
of these two domains	iras destes dois domínios, combinando	ecnologias digitais modernas com tecnolo	Tecnológico/Social	Integração das novas tecnologias	Barreira	Amvada et al. (2022)	Internet of things (Iot) and artificial	11
re [27,118,119]. These	micos e muito mais [27.118.119]. Esses	ntegração e interoperabilidade de dados	Tecnológico/Social	Integração das novas tecnologias	Barreira	Omrany et al. (2023)	nsive review of current implem	16
ational and workflow	anças organizacionais e de fluxo de trab	anças organizacionais e de fluxo de trab	Tecnológico/Social	Integração das novas tecnologias	Barreira	Nagy et al. (2021)	Organisational level challenges	4
. Multilingualism	Multilinguismo	Multilinguismo	Tecnológico/Social	Integração das novas tecnologias	Barreira	Jan et al. (2023)	0: Systematic review of applic	17
vironment of the	constante mudança do processo de constr	em constante mudança do processo de c	Tecnológico/Social	Integração das novas tecnologias	Barreira	Regona et al. (2022)	Challenges of AI in the Constructi	13
ods are prioritized	cionais são priorizados em detrimento	adaptar-se a esses novos ambientes	Tecnológico/Social	Integração das novas tecnologias	Barreira	Regona et al. (2022)	Challenges of AI in the Constructi	12
f different communic-	erentes tecnologias de comunicação, a	ração de diferentes tecnologias de com	Tecnológico/Social	Integração das novas tecnologias	Barreira	Turner et al. (2021)	in the Construction Site: Challe	7
e system should be	o futuro, o sistema deve ser projetado	máquinas humanas trabalham juntas	Tecnológico/Social	Integração das novas tecnologias	Solução	rabhakar et al. (2023)	the Implementation of Ai, IoT	9
e new digital technol-	es devem integrar novas tecnologias	ar novas tecnologias e competências di	Tecnológico/Social	Integração das novas tecnologias	Barreira	Amvada et al. (2022)	Internet of things (Iot) and artificial	11
objects are complex	ue construção são empreendimentos com	de quantidade de processos, subprocess	Tecnológico/Social	Integração das novas tecnologias	Barreira	erreich, Teuteberg (2022)	Implications of digitisation and	3
platforms (sensors, s-	taformas tecnológicas (sensores, softwa	ro, exigindo investimentos significativ	Econômico	Investimento financeiro	Barreira	Attaran, Celik (2023)	enefits, use cases, challenges, a	8
d framework require-	da Indústria 4.0 requer elevados inve	grandes custos	Econômico	Investimento financeiro	Barreira	Singh et al. (2023)	Challenges in the adoption of in	7
cles caused by a lack	s obstáculos causados pela falta de nor	custo de implementação	Econômico	Investimento financeiro	Barreira	Singh et al. (2023)	Challenges in the adoption of in	4

barrier was revealed	A principal barreira revelou-se ser a	as associadas à implementação e manu	Econômico	Investimento financeiro	Barreira	Singh et al. (2023)	challenges in the adoption of in	4
High investments	Altos investimentos	Altos investimentos	Econômico	Investimento financeiro	Barreira	hdaneev et al. (2020)	ry 4.0 Technologies in the Rus	5
r with its benefits in	seus benefícios na redução de custos, b	em termos de redução de custos, bem c	Econômico	Investimento financeiro	Barreira	mirkesen, Tezel (2025)	es for industry 4.0 adoption an	6
e research and develop	dos na investigação e desenvolvimento d	Altos custos iniciais	Econômico	Investimento financeiro	Barreira	Regona et al. (2022)	lenges of AI in the Constructi	10
port that will involve	especialista em IA que envolverá custos	envolver custos adicionais	Econômico	Investimento financeiro	Barreira	Regona et al. (2022)	lenges of AI in the Constructi	10
ty in fear of loss of jo	dade com medo de perder o emprego. In	Investimento inicial	Econômico	Investimento financeiro	Barreira	rabhakar et al. (2023)	the Implementation of Ai, IoT	9
budget for impleme	Falta de orçamento para implementação	falta de orçamento para implementação	Econômico	Investimento financeiro	Barreira	inmohammadi (2023)	stry 4.0: Understanding the D	4
unaffordable for mos	pode ser inacessível para a maioria dos	altos custos iniciais	Econômico	Investimento financeiro	Barreira	Regona et al. (2022)	lenges of AI in the Constructi	12
initial cost of new tec	alto custo inicial das novas tecnologia	alto custo inicial das novas tecnologia	Econômico	Investimento financeiro	Barreira	Nagy et al. (2021)	organisational level challeng	4
on in construction pr	ção da I4.0 em projetos de construção sã	despesa	Econômico	Investimento financeiro	Barreira	Singh et al. (2023)	challenges in the adoption of in	4
rowth of the Digital	ltarão o crescimento do mercado de gé	alto custo de implantação	Econômico	Investimento financeiro	Barreira	Attaran, Celik (2023)	enefits, use cases, challenges, a	8
al Twins are expected	complexa dos Gêmeos Digitais abrander	alto custo fixo	Econômico	Investimento financeiro	Barreira	Attaran, Celik (2023)	enefits, use cases, challenges, a	8
ges related to initial	inícios relacionados aos custos de investim	custos	Econômico	Investimento financeiro	Barreira	Omrany et al. (2023)	nsive review of current imple	19
processes of operatio	processos de criação de valor operaci	em grande escala; retorno desconheci	Econômico	Investimento financeiro	Barreira	famvada et al. (2022)	m? The risks of implementing	4
t funds to design, dev	entes para conceber, desenvolver e conti	custos do projeto	Econômico	Investimento financeiro	Barreira	Wang et al. (2021)	ternet of things (Iot) and artific	9
urced to spend the ca	tes para gastar o capital na adoção da IA	retorno do investimento	Econômico	Investimento financeiro	Barreira	Jan et al. (2023)	0: Systematic review of applic	18
nd the unclear benefit	tecnologias e aos benefícios pouco clar	alto investimento	Econômico	Investimento financeiro	Barreira	erreich, Teuteberg (2	implications of digitisation and	15
would not want to inc	designers não queriam incorporar aspe	sem incentivo financeiro	Econômico/Político	Investimento financeiro	Barreira	Custovi et al. (2023)	nstruction: Opportunities and c	14
ments that allow opti	mizados que permitam otimizar a utiliz	projeto caro	Econômico/Tecnológico/Social	Investimento financeiro	Barreira	kazan; Estevez (202	rocess management: state of t	6
clarity regarding the	quanto ao conceito de componentes de	rir a tecnologia; capacitar a força de tra	Econômico/Tecnológico/Social	Investimento financeiro	Barreira	Almarni et al. (2023)	the outturn cost of ICT infrastr	5
development departm	estigação e desenvolvimento para promov	construção, especialmente quando o re	Social/Econômico	Investimento financeiro	Barreira	Singh et al. (2023)	challenges in the adoption of in	7
ainties about financ	Uncertezas sobre ganhos financeiros	Uncertezas sobre ganhos financeiros	Social/Econômico	Investimento financeiro	Barreira	Jan et al. (2023)	0: Systematic review of applic	17
aining employees in	ra de treinar funcionários no uso de disp	osto extra de treinamento de funcioná	Social/Econômico	Investimento financeiro	Barreira	Jan et al. (2023)	0: Systematic review of applic	17
with an unknown pay	grande escala, com um período de ret	em grande escala; retorno desconheci	Social/Econômico	Investimento financeiro	Barreira	Wang et al. (2021)	ternet of things (Iot) and artific	4
ing equipment and re	le aquisição de equipamentos e manuten	a aquisição de equipamentos e manuten	Tecnológico/Econômico	Investimento financeiro	Barreira	Jan et al. (2023)	0: Systematic review of applic	17
vestment constantly	tcisam de investimento constante para m	ento constante para manter os dados atu	Tecnológico/Econômico	Investimento financeiro	Barreira	Regona et al. (2022)	lenges of AI in the Constructi	10
o increase competitiv	im de aumentar a competitividade atra	despesas operacionais	Tecnológico/Econômico	Investimento financeiro	Barreira	hdaneev et al. (2020)	ry 4.0 Technologies in the Rus	1
adequate data secur	e a segurança inadequada dos dados são	restrições de recursos e falta de padrões	Político/legal	Legislação e regulamentação	Barreira	Jaqbool et al. (2023)	in the Ghanaian construction	5
cles caused by a lack	s obstáculos causados pela falta de norma	de padrões, questões legais e contratu	Político/legal	Legislação e regulamentação	Barreira	Singh et al. (2023)	challenges in the adoption of in	4
th the rapidly changi	Com o cenário tecnológico em rápida	regulamentos, certificações e padrões ad	Político/legal	Legislação e regulamentação	Barreira	Singh et al. (2023)	challenges in the adoption of in	8
round policies, regul	ações em torno de políticas, regulamentos	políticas, regulamentos e direitos;	Político/legal	Legislação e regulamentação	Barreira	inmohammadi (2023)	stry 4.0: Understanding the D	4
standards.Lack of gu	Falta de padrões, falta de diretrizes	Falta de padrões, falta de diretrizes	Político/legal	Legislação e regulamentação	Barreira	rabhakar et al. (2023)	the Implementation of Ai, IoT	9
system and the knowl	ema CMfg e o conhecimento contido às	legislações locais e procedimentos de a	Político/legal	Legislação e regulamentação	Barreira	Custovi et al. (2023)	nstruction: Opportunities and c	9
nces and frameworks	uturas padronizadas dificulta a interoper	A falta de padrões amplamente aceita	Político/legal	Legislação e regulamentação	Barreira	Omrany et al. (2023)	nsive review of current imple	18
rns related to data ow	ppriedade, acesso, compartilhamento e d	desenvolvendo padrões robustos	Político/legal	Legislação e regulamentação	Solução	Omrany et al. (2023)	nsive review of current imple	18
ecurity, cloud comput	ança cibernética, da computação em nu	legislativo adequado	Político/legal	Legislação e regulamentação	Barreira	Singh et al. (2023)	challenges in the adoption of in	8
s to vulnerability in	tos. Isso leva à vulnerabilidade na adoçã	Os processos legais e contratuais	Político/legal	Legislação e regulamentação	Barreira	mirkesen, Tezel (2025)	es for industry 4.0 adoption an	7
ed and studies and re	deve ser formado e estudos e pesquisas	deve ser formado e estudos e pesquisas	Político/legal	Legislação e regulamentação	Solução	rabhakar et al. (2023)	the Implementation of Ai, IoT	9
yet to be addressed	by que ainda precisam ser abordadas pelo g	questões legais	Político/legal	Legislação e regulamentação	Barreira	Regona et al. (2022)	lenges of AI in the Constructi	10
us levels. With the in	em vários níveis. Com a inclusão da es	obsolescência de trabalhadores humano	Social/Político	Obsolescência	Barreira	Singh et al. (2023)	challenges in the adoption of in	7
th the rapidly changi	Com o cenário tecnológico em rápida	cenário tecnológico em rápida mudança	Tecnológico/Ambiental	Obsolescência	Barreira	Singh et al. (2023)	challenges in the adoption of in	8
zations are not able	to e privado não conseguem acompanhar	organizações dos setores público e privad	Tecnológico/Econômico/Ambiental	Obsolescência	Barreira	Almarni et al. (2023)	the outturn cost of ICT infrastr	4
vironment of the cons	tante mudança do processo de construm	constante mudança do processo de c	Tecnológico/Social/Ambiental	Obsolescência	Barreira	Regona et al. (2022)	lenges of AI in the Constructi	13
nd and equip their tal	ontrar e equipar os seus talentos com as	envolvimento da adoção e transformaç	Político/Social/Econômico/Ambien	Obsolescência	Barreira	famvada et al. (2022)	m? The risks of implementing	4
ther organization de	qualquer outra organização os departam	moda bem integrada	Político	Padronização	Barreira	Singh et al. (2023)	challenges in the adoption of in	8
clude data standard	Isso inclui padronização de dados,	padronização de dados	Político	Padronização	Barreira	Attaran, Celik (2023)	enefits, use cases, challenges, a	8
framework will enta	ra Indústria 4.0 implicarão mudanças	mudanças no processo de execução	Político	Padronização	Barreira	Singh et al. (2023)	challenges in the adoption of in	7
histicated equipment	tos e dispositivos sofisticados necessár	processos envolvidos na integração da	Político	Padronização	Barreira	Singh et al. (2023)	challenges in the adoption of in	7
struction project mak	e um projeto de construção dificulta a i	Não padronização	Político/Tecnológico	Padronização	Barreira	Regona et al. (2022)	lenges of AI in the Constructi	10
ial property issues	[2]ões de propriedade intelectual [20]. Ess	ultam o compartilhamento de informaç	Social/Político	Padronização	Barreira	Regona et al. (2022)	lenges of AI in the Constructi	13
loping structures to	e desenvolver estruturas que permitam a	ções são dinâmicas e variáveis em cada	Social/Político	Padronização	Solução	mirkesen, Tezel (2025)	es for industry 4.0 adoption an	6
tion of processes is	se definição de processos é vista como uma	de negócio como complemento à def	Tecnológico/Político	Padronização	Solução	kazan; Estevez (202	rocess management: state of f	15
ch results in serious	padronização, o que resulta em graves pe	falta de padronização	Tecnológico/Político	Padronização	Barreira	mirkesen, Tezel (2025)	es for industry 4.0 adoption an	6
is unique. The work	é único. O processo de trabalho é compl	cesso de trabalho é complexo e não repe	Tecnológico/Político	Padronização	Barreira	Regona et al. (2022)	lenges of AI in the Constructi	13
file formats and dat	e intercâmbio de dados universalment	de dados padronizados, protocolos e in	Tecnológico/Político	Padronização	Solução	Omrany et al. (2023)	nsive review of current imple	16
adequate data secur	e a segurança inadequada dos dados são	restrições de recursos e falta de padrões	Político	Políticas Públicas e Desenvolvimento Naci	Barreira	Jaqbool et al. (2023)	in the Ghanaian construction	5
and industry practic	es e práticas industriais, influenciará a e	da indústria da construção em diferente	Político	Políticas Públicas e Desenvolvimento Naci	Barreira	Omrany et al. (2023)	nsive review of current imple	19
itive buy-in or alter	na adesão dos executivos ou políticas alter	adesão dos executivos ou políticas alter	Político	Políticas Públicas e Desenvolvimento Naci	Barreira	inmohammadi (2023)	stry 4.0: Understanding the D	4
de lack of sufficient	cluem a falta de conhecimentos suficien	falta de entusiasmo e apoio do governo	Político	Políticas Públicas e Desenvolvimento Naci	Barreira	Singh et al. (2023)	challenges in the adoption of in	4
round policies, regul	ações em torno de políticas, regulamentos	políticas, regulamentos e direitos	Político/legal	Políticas Públicas e Desenvolvimento Naci	Barreira	inmohammadi (2023)	stry 4.0: Understanding the D	4
system and the knowl	ema CMfg e o conhecimento contido às	legislações locais e procedimentos de a	Político/legal	Políticas Públicas e Desenvolvimento Naci	Barreira	Custovi et al. (2023)	nstruction: Opportunities and c	9

yet to be addressed by	que ainda precisam ser abordadas pelo	que ainda precisam ser abordadas pelo	Político/Social/Legal	ticas Públicas e Desenvolvimento Naci	Barreira	Regona et al. (2022)	llenges of AI in the Constructi	10
of these technologies.	cios dessas tecnologias. Um dos desafios	profissionais altamente qualificados	Social	Qualificação profissional e desemprego	Barreira	Wang et al. (2021)	ternet of things (IoT) and artific	11
industry 4.0 necessitate	da indústria 4.0 requer briefing e	edos os participantes da cadeia de forne	Social	Qualificação profissional e desemprego	Solução	Singh et al. (2023)	hallenges in the adoption of ir	7
ly, workers who have	Claramente, os trabalhadores que têm tr	do conhecimento analítico, de programa	Social	Qualificação profissional e desemprego	Barreira	Singh et al. (2023)	hallenges in the adoption of ir	7
stry might require the	os 14.0 na indústria pode exigir a utiliz	falta de mão de obra qualificada	Social	Qualificação profissional e desemprego	Barreira	mirkesen, Tezel (202	es for industry 4.0 adoption an	6
from one place to ano	ateriais pesados de um lugar para outro	capaz de se sentir confortável com term	Social	Qualificação profissional e desemprego	Barreira	Singh et al. (2023)	hallenges in the adoption of ir	7
h implementation an	çadas à implementação e manutenção, se	candidatos qualificados com	Social	Qualificação profissional e desemprego	Barreira	Singh et al. (2023)	hallenges in the adoption of ir	4
of digital innovation	ações digitais exigem simultaneamente	dades gerenciais adicionais; apoio da ec	Social	Qualificação profissional e desemprego	Barreira	famvada et al. (2022)	m? The risks of implementing	4
acerbates psychosoci	os das TIC agrava os riscos psicossocial	estresse	Social	Qualificação profissional e desemprego	Barreira	Hayat, Reda (2022)	architecture for monitoring Oc	2
onal skills and may	etências tradicionais e pode afetar a disp	habilidades tradicionais	Social	Qualificação profissional e desemprego	Barreira	Regona et al. (2022)	llenges of AI in the Constructi	10
designing production	orrentes do redesenho das instalações de	qualificações inadequadas	Social	Qualificação profissional e desemprego	Barreira	famvada et al. (2022)	m? The risks of implementing	8
ndustry brand Low sk	da indústria Mão de obra pouco qualifi	da indústria Mão de obra pouco qualifi	Social	Qualificação profissional e desemprego	Solução	Nagy et al. (2021)	rganisational level challeng	7
ating of academic Sy	atualização de instalações de treinamen	atualização de instalações de treinamen	Social	Qualificação profissional e desemprego	Solução	rabhakar et al. (2023)	he Implementation of Ai, IoT	9
rtise, lack of data, fal	onhecimento técnico, falta de dados, fal	ecimento de domínio, conhecimento té	Social	Qualificação profissional e desemprego	Barreira	Jan et al. (2023)	0: Systematic review of applic	18
ymment rates. Neverth	emprego mais elevadas. No entanto, a r	trabalhadores qualificados	Social	Qualificação profissional e desemprego	Barreira	Regona et al. (2022)	llenges of AI in the Constructi	13
ess to talent and und	falta de acesso ao talento e compreensão	Falta de acesso a talentos	Social	Qualificação profissional e desemprego	Barreira	mmohammadi (2023)	stry 4.0: Understanding the D	4
ack of talent and skill	Falta de talento e habilidades	Falta de talento e habilidades	Social	Qualificação profissional e desemprego	Barreira	Jan et al. (2023)	0: Systematic review of applic	17
tage Human feeling	cias e mão de obra Sentimento humano	Habilidade Educacional	Social	Qualificação profissional e desemprego	Barreira	Nagy et al. (2021)	rganisational level challeng	7
Situational leadership	Liderança situacional	Liderança situacional	Social	Qualificação profissional e desemprego	Solução	Nagy et al. (2021)	rganisational level challeng	5
es on a factory floor i	funcionários no chão de fábrica é difícil	pessoal qualificado	Social	Qualificação profissional e desemprego	Barreira	famvada et al. (2022)	m? The risks of implementing	4
v skills for human lab	vas competências para o trabalho huma	vas competências para o trabalho huma	Social	Qualificação profissional e desemprego	Barreira	Nagy et al. (2021)	rganisational level challeng	4
New roles and skills	Novas funções e habilidades	Novas funções e habilidades	Social	Qualificação profissional e desemprego	Solução	Nagy et al. (2021)	rganisational level challeng	5
oportion to learn suffi	ão importante para aprender dados sufici	ltiplas fontes; tomar decisões inteligente	Social	Qualificação profissional e desemprego	Barreira	Pan, Zhang (2021)	ction engineering and manage	2
histicated equipment	tos e dispositivos sofisticados necessár	habilidades técnicas avançadas	Social	Qualificação profissional e desemprego	Barreira	Singh et al. (2023)	hallenges in the adoption of ir	7
de lack of sufficient	echuem a falta de conhecimentos suficien	falta de experiência suficiente	Social	Qualificação profissional e desemprego	Barreira	Singh et al. (2023)	hallenges in the adoption of ir	4
al resistance and corp	’, “resistência interna e cultura corporati	qualificação inadequada	Social	Qualificação profissional e desemprego	Barreira	Wang et al. (2021)	ternet of things (IoT) and artific	8
r setting up new data	sores ou a criação de novos bancos de d	competências dos funcionários	Social	Qualificação profissional e desemprego	Barreira	chnasse et al. (2021)	orrelations in the Context of D	1
nce and that they ha	trabalho atual e que ela tenha sido forma	ados de acordo com velhos paradig	Social	Qualificação profissional e desemprego	Barreira	Jesus; Lima (2022)	text of European Union to Ide	4
t on construction risk	impacto nos riscos da construção. Eles	e habilidade do pessoal; força de trabalh	Social	Qualificação profissional e desemprego	Barreira	Xie et al. (2019)	ed risk warning system for sm	4
us levels. With the in	em vários níveis. Com a inclusão da es	obsolescência de trabalhadores humano	Social/Político	Qualificação profissional e desemprego	Barreira	Singh et al. (2023)	hallenges in the adoption of ir	7
on firms to Industry	presas de construção para a Indústria 4.	uma necessidade urgente para capacita	Social/Político	Qualificação profissional e desemprego	Solução	Singh et al. (2023)	hallenges in the adoption of ir	7
ent knowledge in tec	Conhecimento de gestão em tecnologias	Conhecimento de gestão em tecnologias	social/tecnológico	Qualificação profissional e desemprego	Barreira	Nagy et al. (2021)	rganisational level challeng	4
018; Ben-Daya et al.	er e Voigt, 2018; Ben-Daya et al., 2019;	uridade das tecnologias; qualificações i	social/tecnológico	Qualificação profissional e desemprego	Barreira	Wang et al. (2021)	ternet of things (IoT) and artific	1
mandates for BIM use	amentais para o uso do BIM [64], [76]	incentivos para a adoção	Social/Político	Cultura organizacional	Solução	erreich; Teuteberg (2	implications of digitisation and	15
companies are hesita	construtoras hesitam em investir	hesitando em investir	Social	Cultura organizacional	Barreira	erreich; Teuteberg (2	implications of digitisation and	15
es [64] are a barrier	terna [64] constitui um obstáculo à ado	de formação e educação [28], [30] e de	Social/Econômico	Investimento financeiro	Barreira	erreich; Teuteberg (2	implications of digitisation and	15
ment of methods an	envolvimento de métodos e ferramentas	métodos e ferramentas para	Econômico	Investimento financeiro	Solução	erreich; Teuteberg (2	implications of digitisation and	15
s the re-evaluation an	er principalmente a reavaliação e reenge	tro da organização e como redesenhar	Tecnológico	Integração das novas tecnologias	Barreira	erreich; Teuteberg (2	implications of digitisation and	15
ction workers on site	lores da construção no local [28], [30]. I	certo nível de conhecimento	Social	qualificação profissional e desemprego	Barreira	erreich; Teuteberg (2	implications of digitisation and	15
vation [79] and there	deias para criar inovação [79] e, portan	grupos interdisciplinares colaborarem e	Social	qualificação profissional e desemprego	Solução	erreich; Teuteberg (2	implications of digitisation and	15
roject knowledge [92]	odificado e partilhado do projeto [92] e	es para a gestão do conhecimento dentr	Tecnológico	Padronização	Barreira	erreich; Teuteberg (2	implications of digitisation and	15
ledge [92] and throug	imento do projeto [92] e através da col	ra e reutilização do conhecimento do pr	Tecnológico	Padronização	Solução	erreich; Teuteberg (2	implications of digitisation and	15
tance to changes and	te resistência às mudanças e às novas tec	forte resistência	Social	Cultura organizacional	Barreira	erreich; Teuteberg (2	implications of digitisation and	15
cess [63] and implem	implementação [63] e implementar ide	líderes de opinião	Social	Cultura organizacional	Solução	erreich; Teuteberg (2	implications of digitisation and	15
y and multi-protocol	gia RFID e etiquetas e leitores multiprot	falta de padrões	Tecnológico/Político	Padronização	Barreira	erreich; Teuteberg (2	implications of digitisation and	15
struction site enviro	omática para uso no ambiente especific	projetados para suportar vibrações fo	Tecnológico	Capacidade das tecnologias instaladas	Barreira	erreich; Teuteberg (2	implications of digitisation and	15
, e.g. by applying the	ternos, por ex. aplicar a abordagem BY	segurança e proteção de dados [Tecnológico	Cibersegurança e privacidade	Barreira	erreich; Teuteberg (2	implications of digitisation and	15
ugh centralised cloud	através de ferramentas centralizadas de	m proteger os seus dados contra acesso	Tecnológico	Cibersegurança e privacidade	Solução	erreich; Teuteberg (2	implications of digitisation and	15
ctivity [81] or the la	do confiável [81] ou a falta de acesso à	o e confiável à Internet em canteiros	Tecnológico	Capacidade das tecnologias instaladas	Barreira	erreich; Teuteberg (2	implications of digitisation and	15
ns have to be consid	m ser consideradas restrições elevadas	informações pessoais sobre funcionário	Social	Cibersegurança e privacidade	Barreira	erreich; Teuteberg (2	implications of digitisation and	15
d data protection hav	e à proteção de dados devem ser verifi	à privacidade e à proteção de dados de	Social	Cibersegurança e privacidade	Solução	erreich; Teuteberg (2	implications of digitisation and	15
s of the legal owners	stões sobre a propriedade legal do mode	nça jurídica e contratual quanto ao uso	Político/legal	Legislação e regulamentação	Barreira	erreich; Teuteberg (2	implications of digitisation and	15