



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA DE
PRODUÇÃO – PPGEPRO

BERG FRANCISCO ALVES DE SOUZA

**ADOÇÃO DE SOLUÇÕES DIGITAIS: PROPOSTA PARA IMPLEMENTAÇÃO EM
UMA CONSTRUTORA DE PEQUENO PORTE NO INTERIOR DE PERNAMBUCO**

Recife

2024

BERG FRANCISCO ALVES DE SOUZA

**ADOÇÃO DE SOLUÇÕES DIGITAIS: PROPOSTA PARA IMPLEMENTAÇÃO EM
UMA CONSTRUTORA DE PEQUENO PORTE NO INTERIOR DE PERNAMBUCO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Profissional em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Área de concentração: Gerência da Produção

Orientadora: Profa. Dra. Luciana Hazin Alencar

Recife

2024

.Catalogação de Publicação na Fonte. UFPE - Biblioteca Central

Souza, Berg Francisco Alves de.

Adoção de soluções digitais: proposta para implementação em uma construtora de pequeno porte no interior de Pernambuco / Berg Francisco Alves de Souza. - Recife, 2024.

123f.: il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Programa de Pós-Graduação Profissional em Engenharia de Produção, 2024.

Orientação: Luciana Hazin Alencar.

1. I4.0; 2. Soluções digitais; 3. Digitalização; 4. Construção Civil; 5. Implementação. I. Alencar, Luciana Hazin. II. Título.

UFPE-Biblioteca Central

CDD 658.5

BERG FRANCISCO ALVES DE SOUZA

**ADOÇÃO DE SOLUÇÕES DIGITAIS: PROPOSTA PARA IMPLEMENTAÇÃO EM
UMA CONSTRUTORA DE PEQUENO PORTE NO INTERIOR DE PERNAMBUCO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Profissional em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção. Área de concentração: Gerência da Produção

Aprovada em: 28/05/2024.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Luciana Hazin Alencar (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Profa. Dra. Caroline Maria de Miranda Mota (Examinadora Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Profa. Dra. Emília Rahnemay Kohlman Rabbani (Examinadora Externa)
Universidade de Pernambuco

Dedico esse trabalho ao meu filho Yan.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus, por me permitir ultrapassar todos os obstáculos ao longo da realização deste trabalho.

Aos meus pais, Maria José e Luiz, que sempre me incentivaram e não mediram esforços para a concretização dos meus sonhos. Por acreditar em mim. Amo vocês!

À minha esposa, Kennia, pelo suporte nos momentos difíceis e compressão a minha ausência enquanto eu me empreguei à execução deste trabalho. Amo você!

Aos companheiros do mestrado profissional, pelo ambiente amistoso no qual convivemos e solidificamos os nossos conhecimentos. A união fortaleceu a todos em nossa jornada. Obrigado nobres!

Ao meu irmão, amigos e colegas de trabalho, pelo apoio demonstrado ao longo de todo o período de tempo em que me dediquei a este trabalho.

À empresa construtora pelo fornecimento de dados e materiais que foram fundamentais para o desenvolvimento da pesquisa que possibilitou a essa realização. Obrigado pela parceria e confiança.

Aos professores do PPGEPRO, pela excelência na transmissão do conhecimento, em especial a prof^ª Dr^ª Luciana Alencar, pela orientação nessa pesquisa e ao artigo publicado, tornando possíveis suas conclusões. Obrigado por tudo!

O homem não teria alcançado o possível se, repetidas vezes, não tivesse tentado o impossível. (Max Weber, 2015, p.138).

RESUMO

A digitalização no setor da construção, após a introdução da Indústria 4.0, facilitou os processos de construção e manutenção, mas, a indústria da construção tem demonstrado lentidão para responder às inovações tecnológicas. Este fenômeno é particularmente marcante em pequenas empresas e em países em desenvolvimento, onde pesquisas sobre a aplicação da Indústria 4.0 têm sido poucas e limitadas, evidenciando uma lacuna importante que precisa ser preenchida. A Indústria 4.0 tem potencial para impulsionar a transformação dos modelos de negócios na economia mais ampla, com sistemas de produção interconectados e auto otimizados que podem melhorar a produtividade, desempenho e competitividade das empresas. Contudo, a implementação de tecnologias da Indústria 4.0 na construção civil encontra desafios, incluindo altos custos iniciais, resistência à mudança, limitações do espaço de trabalho e o nível imaturo da tecnologia. As empresas de pequeno porte têm dificuldade competitiva, pela falta de uma ferramenta que auxilie na introdução e na implementação dessas ferramentas e soluções digitais em suas organizações. Nesse contexto, e criada a partir de diretrizes trazidas por autores da literatura, foi proposta uma metodologia de implantação de ferramentas e soluções digitais no contexto da construção 4.0, factíveis de adoção em empresas de pequeno porte da indústria da construção civil, como produto gerado neste trabalho. Através de um estudo de caso numa construtora de pequeno porte de Pernambuco que apresenta baixa automação de seus processos e limitações quanto ao uso de soluções tecnológicas nas áreas de fiscalização, gestão e controle de obras, foi possível aplicar a metodologia proposta, mostrando-se viáveis as implantações na empresa da computação móvel, computação em nuvem, uso da ferramenta BIM e uso de drones como ferramentas importadas da Indústria 4.0. O produto gerado nesta pesquisa tem a principal finalidade de trazer a competitividade de mercado e relevância a empresa estudada, bem como pode ser adaptado para outras construtoras de pequeno porte, adotando as etapas de implantação aqui propostas. O estudo conclui que a implementação de soluções digitais no setor de construção civil é uma necessidade crítica para empresas de pequeno porte. Apesar dos desafios, a adaptação à Indústria 4.0 tem potencial para melhorar a produtividade, eficiência e competitividade das empresas, alavancando assim a economia mais ampla. A implementação da computação em nuvem no setor de orçamentos da empresa mostrou de acordo com levantamentos e dados iniciais, benefícios como a redução do tempo de elaboração de orçamentos sintéticos e analíticos.

Palavras-chave: I4.0; Soluções digitais; Digitalização; Construção Civil; Implementação.

ABSTRACT

Digitalization in the construction sector, after the introduction of Industry 4.0, has facilitated construction and maintenance processes, but the construction industry has been slow to respond to technological innovations. This phenomenon is particularly striking in small companies and in developing countries, where research on the application of Industry 4.0 has been few and limited, highlighting an important gap that needs to be filled. Industry 4.0 has the potential to drive the transformation of business models in the broader economy, with interconnected and self-optimizing production systems that can improve companies' productivity, performance and competitiveness. However, the implementation of Industry 4.0 technologies in construction faces challenges, including high initial costs, resistance to change, workspace limitations and the immature level of the technology. Small companies have competitive difficulties due to the lack of a tool that helps in the introduction and implementation of these digital tools and solutions in their organizations. In this context, and created based on guidelines brought by authors from the literature a methodology for implementing digital tools and solutions in the context of construction 4.0 was proposed, feasible for adoption in small companies in the construction industry, as a product generated in this work. Through a case study in a small construction company in Pernambuco that has low automation of its processes and limitations regarding the use of technological solutions in the areas of inspection, management and control of works, it was possible to apply the proposed methodology, proving to be viable the company's implementation of mobile computing, cloud computing, use of BIM tools and use of drones as imported Industry 4.0 tools. The product generated in this research has the main purpose of bringing market competitiveness and relevance to the company studied, as well as can be adapted for other small construction companies, adopting the implementation steps proposed here. The study concludes that the implementation of digital solutions in the construction sector is a critical need for small businesses. Despite the challenges, adapting to Industry 4.0 has the potential to improve the productivity, efficiency and competitiveness of companies, thus leveraging the broader economy. According to surveys and initial data, the implementation of cloud computing in the company's budget sector has shown benefits such as reducing the time it takes to prepare synthetic and analytical budgets.

Keywords: I4.0; Digital solutions; Digitization; Civil Construction; Implementation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Evolução das revoluções industriais	25
Figura 2 –	Fluxograma da proposta de metodologia de implantação de ferramentas e soluções digitais	60
Figura 3 –	Sequência do estudo de caso	72
Figura 4 –	Instalação de terças em cobertura	74
Figura 5 –	Vício construtivo num reservatório elevado	75
Figura 6a –	Planta térreo	76
Figura 6b –	Planta dos pavimentos superiores	76
Figura 7 –	Ficha em papel de controle e entrega de EPI da empresa em estudo	77
Figura 8 –	Tabela analítica do SINAPI	96
Figura 9 –	Orçamento sintético licitado	96
Figura 10 –	Tela do OrçaFascio	98

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 –	Crescimento dos dispositivos IoT versus população mundial	27
Gráfico 2 –	PIB Construção civil e PIB Total – Variação (%) no trimestre de 2020 a 2022	34
Gráfico 3 –	Evolução da variação (%) do PIB Brasil e do PIB da Construção Civil de 2010 a 2022	35

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 –	Benefícios do BIM em diferentes fases do ciclo de vida de uma construção	46
Quadro 2 –	Estudos recentes que abordam e explanam a temática estudada	54
Quadro 3 –	Etapas de implementação de tecnologias da construção 4.0 segundo El Jazzar <i>et al.</i> (2021)	59
Quadro 4 –	Proposta de questionário	61
Quadro 5 –	Roteiro para determinação das técnicas, coleta e análise de dados	62
Quadro 6 –	Proposta de análise de dados	63
Quadro 7 –	Áreas identificadas para aplicação de tecnologias da construção 4.0	63
Quadro 8 –	Guia para análise de mercado	64
Quadro 9 –	Quadro resumo da análise de mercado	65
Quadro 10 –	Proposta de questionário para definição das tecnologias	66
Quadro 11 –	Resumo proposto do questionário para definição das tecnologias	66
Quadro 12 –	Etapas para elaboração de um plano de implementação	67
Quadro 13 –	Planilha de investimento	68
Quadro 14 –	Planilha de treinamento	68
Quadro 15 –	Proposta de cronograma	69
Quadro 16 –	Proposta de comunicação e engajamento	70
Quadro 17 –	Planilha de análise de dados do estudo de caso	82
Quadro 18 –	Áreas identificadas para aplicação de tecnologias da construção 4.0 do estudo de caso	82
Quadro 19 –	Análise de mercado do estudo de caso	84
Quadro 20 –	Pesquisa de mercado (concorrentes)	84
Quadro 21 –	Pesquisa em artigos e publicações	85
Quadro 22 –	Resumo das tecnologias pesquisas	86
Quadro 23 –	Quadro resumo do questionário para definição das tecnologias	88
Quadro 24 –	Planilha de Planilha de treinamento	91
Quadro 25 –	Planilha de investimentos	92
Quadro 26 –	Cronograma proposto de implementação do estudo de caso	93

LISTA DE ABREVIATURAS

2D	Duas Dimensões
3D	Três Dimensões
3DCP	<i>3D Concrete Printing</i>
BD	<i>Big Data</i>
BDI	Bonificação e Despesas Indiretas
BIM	<i>Building Information Modeling</i>
BLE	<i>Bluetooth Low Energy</i>
CBIC	Câmara Brasileira da Indústria da Construção
CIPA	Comissão Interna de Prevenção de Acidentes
CC	Construção Civil
CPL	Comissão Permanente de Licitação
EPI	Equipamentos de Proteção Individual
FNDE	Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação
I4.0	Indústria 4.0
IA	Inteligência Artificial
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IoS	<i>Internet of Services</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
PDA	<i>Personal Digital Assistant</i>
PIB	Produto Interno Bruto
RA	Realidade Aumentada
RFID	<i>Radio-Frequency Identification</i>
RV	Realidade Virtual
SCIELO	<i>Scientific Electronic Library Online</i>
SCOPUS	<i>Bibliographic Database for Science</i>
SIG	Sistemas de Informações Geográficas
SINAPI	Sistema Nacional de Pesquisas de Custos e Índices da Construção Civil
SST	Saúde e Segurança do Trabalhador

TD	Transformação Digital
TI	Tecnologia da Informação
TIC	Tecnologias da Informação e Comunicação
VANT	Veículo Aéreo Não Tripulado
WEF	<i>World Economic Forum</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA	18
1.2	OBJETIVOS	20
1.2.1	Objetivo Geral	20
1.2.2	Objetivo Específicos.....	20
1.3	METODOLOGIA.....	21
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	22
2	REFERENCIAL TEÓRICO E REVISÃO DA LITERATURA.....	24
2.1	INDÚSTRIA 4.0.....	24
2.1.1	ÁREAS DA INDÚSTRIA 4.0.....	26
2.2	O SETOR DA CONSTRUÇÃO CIVIL	33
2.3	TRANSFORMAÇÃO DIGITAL NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO	35
2.4	CONSTRUÇÃO 4.0	38
2.5	A ADOÇÃO DE SOLUÇÕES DIGITAIS NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL - REVISÃO DA LITERATURA	43
2.6	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO.....	57
3	PROPOSTA DE METODOLOGIA DE IMPLANTAÇÃO DE FERRAMENTAS E SOLUÇÕES DIGITAIS DA CONSTRUÇÃO 4.0	58
3.1	DO PRODUTO GERADO	59
3.2	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO.....	71
4	ESTUDO DE CASO	72
4.1	CONTEXTO DA UNIDADE-CASO.....	72
4.2	DETERMINAÇÃO DAS TÉCNICAS E COLETA DE DADOS	73
4.3	DIAGNÓSTICO	73
4.3.1	Serviços com difícil acesso e inspeção em fachadas.....	74
4.3.2	Incompatibilização entre projetos.....	75
4.3.3	Processos mecânicos na gestão da segurança e saúde dos trabalhadores.....	77
4.3.4	Orçamentos de obras usando planilha digital	78
4.4	IMPLEMENTAÇÃO NA UNIDADE-CASO.....	78
4.5	DISCUSSÕES DO ESTUDO DE CASO.....	98
5	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	100
5.1	CONCLUSÕES	100

5.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	102
	REFERÊNCIAS	103

1 INTRODUÇÃO

O panorama industrial global mudou profundamente nos últimos anos e é resultado de sucessivos desenvolvimentos e inovações tecnológicas (SCHMIDT *et al.*, 2015). As três primeiras revoluções industriais tiveram um forte impacto nos processos industriais, permitindo o aumento da produtividade e eficiência através da utilização de desenvolvimentos tecnológicos disruptivos, como a máquina a vapor, a eletricidade ou a tecnologia digital (SCHUH *et al.*, 2013). A Indústria 4.0(I4.0), que representa uma quarta revolução industrial, introduz avanços relevantes que estão relacionados com as fábricas inteligentes e futuras. Este conceito da Indústria 4.0 é um termo para um paradigma industrial que abrange um conjunto de desenvolvimentos industriais futuros relacionados a Sistemas Ciber-Físicos, Internet das Coisas, Internet de Serviços, Robótica, *Big Data*, Manufatura em Nuvem e Realidade Aumentada (WEYER *et al.*, 2015).

A I4.0 ou Quarta Revolução Industrial foi impulsionada principalmente pelos avanços nas tecnologias digitais, físicas e biológicas. No cerne dessa revolução está o progresso contínuo e significativo em cada uma dessas áreas, além da intensa convergência entre elas (LI *et al.*, 2017). A literatura é ampla quando se trata das diversas áreas da I4.0, haja vista a vasta gama das subdivisões das várias tecnologias e ferramentas envolvidas. A Construção 4.0 (conceito derivado do arcabouço teórico da Indústria 4.0 associado à construção civil) na pesquisa de Oesterreich e Teuteberg (2016) relacionam 16 (dezesesseis) áreas da I4.0 ligadas a construção civil, Balasubramanian *et al.* (2021) referenciam pelo menos 23, já Silva, Simão e Menezes (2018) resumem que a inserção de diversas tecnologias como os drones, a computação em nuvem, realidade aumentada e virtual, manufatura aditiva, BIM e rastreamento automático, estão trazendo mudanças significativas no modo de trabalho da construção civil (CC).

A digitalização no setor da construção, após a introdução da I4.0, facilitou os processos de construção e manutenção (MUSARAT *et al.*, 2022), mas, tradicionalmente, a indústria da construção tem demonstrado lentidão para responder às inovações tecnológicas (CAO; LI; WANG, 2014). O setor de engenharia e construção não tem se mantido atualizado com as oportunidades tecnológicas capazes de melhorar a produção e combater a estagnação da produtividade da mão de obra (MASKURIY *et al.*, 2019).

Além dessa desatualização, estudos mais recentes têm mostrado a dificuldade de implementação da construção 4.0 em pequenas empresas e em empresas de países em desenvolvimento. Em seus estudos, Menegon e Da Silva (2023), concluem que um dos fatores que chama a atenção é a pequena participação de pesquisas de países em desenvolvimento entre

os estudos sobre tecnologias da I4.0 nas diferentes fases do ciclo de vida dos projetos de construção. A partir de seus resultados, infere-se que os estudos estão concentrados em países desenvolvidos, evidenciando uma lacuna a ser preenchida, dada a necessidade de adequar as pesquisas ao redor do mundo à realidade do mercado local de países emergentes, levando em consideração as oportunidades e possíveis barreiras encontradas nesses ambientes (MENEGON; DA SILVA, 2023).

À vista que o setor de engenharia e construção não tem se mantido atualizado com as oportunidades tecnológicas capazes de melhorar a produção e combater a estagnação da produtividade da mão de obra (MASKURIY *et al.*, 2019), é realizado neste trabalho um estudo de caso em uma construtora de pequeno porte com atuação na região da Mata Norte de Pernambuco, cujo objetivo é a implementação, na organização, de tecnologias e soluções digitais da Indústria 4.0 como a computação móvel, internet das coisas, computação em nuvem, uso de drones e ferramenta BIM (*Building Information Modeling*).

Considerando que este trabalho tem como produto uma proposta de uma metodologia de implantação de ferramentas e soluções digitais no contexto da construção 4.0, factíveis de implantação em empresas de pequeno porte da indústria da construção civil. A pesquisa em questão é inovadora, visto que, tem a capacidade desse produto contribuir para que outras empresas de pequeno porte, adotem as ferramentas da construção 4.0 a partir das onze etapas propostas que servirão de referência para as empresas construírem seu plano e cronograma de implementação, e assim como na construtora estudada, melhore a eficiência da organização, aperfeiçoando suas técnicas, operações e serviços. A implementação dessas soluções propostas nas empresas pode trazer mudanças significativas e os investimentos serão traduzidos em benefícios como melhoria na tomada de decisões, aperfeiçoamento no gerenciamento de projetos, inovação, aumento da competitividade no mercado bem como a capacitação e desenvolvimento profissional dos colaboradores.

A empresa foco deste estudo, antes desta pesquisa, não implementou soluções digitais, além de outros fatores, porque não dispunha de um sequenciamento claro de etapas para essa adoção. Nessa conjuntura, o que se propõe representa para as empresas, uma ferramenta com uma metodologia melhorada que oferece direcionamentos a essa parcela do mercado e pode mudar a concepção de como as organizações de pequeno porte lidam com o tema.

1.1 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA

Marinelli (2023), diz que uma parte relevante da indústria da construção é fragmentada e consiste em várias pequenas e médias empresas, que têm recursos limitados para investir em

tecnologias inovadoras. Assim, os desafios de implementação, incluindo altos custos iniciais de configuração (EL-SAYEGH; ROMDHANE; MANJIKIAN, 2020), despesas significativas de treinamento de trabalhadores e resistência à mudança (DARDOURI *et al.*, 2022) e as limitações do espaço de trabalho, bem como o nível imaturo da tecnologia (KIM *et al.*, 2022; LIANG *et al.*, 2021), atualmente restringem a implementação real das tecnologias da Indústria 4.0 na construção e a mantêm em um estágio experimental.

Da mesma forma que o segmento de engenharia e construção tem falhado em se atualizar com as inovações tecnológicas que poderiam potencializar a produção e combater a estagnação da produtividade dos trabalhadores (MASKURIY *et al.*, 2019), a empresa objeto desta pesquisa, uma construtora de pequeno porte, culturalmente aversa a mudanças e que não acompanhou os avanços digitais ou adotou soluções que melhorassem seus processos construtivos, gerenciais ou planejamento, como o cenário dos últimos anos exigiu que o fizesse, ficando estagnada neste sentido. A situação da não implantação dos avanços digitais no setor, gera problemas na empresa como: baixa eficiência operacional, atrasos nas tomadas de decisão, dificuldades no gerenciamento de projetos e redução da competitividade no mercado devido ausência de investimento em soluções digitais.

Consoante resultados e conclusões de sua pesquisa, Musarat *et al.* (2022) elucidam que a aplicação da I4.0 no setor de construção e o uso de várias tecnologias de segurança em canteiros de obras no mercado da Malásia, ajuda a garantir a eficiência dos projetos de construção. Da mesma forma também que Dardouri (2022) atesta através de seu estudo de caso, que a gestão de recursos utilizando ferramentas inteligentes em projetos de construção, mostram melhorias relacionadas à redução de custos e economia de tempo no gerenciamento de pedidos de materiais, os problemas da empresa em foco também podem ser resolvidos com adoção de tecnologias e ferramentas da Construção 4.0.

A implementação das soluções digitais propostas na empresa estudada pode aumentar sua competitividade no mercado, melhorando sua eficiência operacional e geracional. A construção de uma metodologia com um sequenciamento das etapas para a implementação das tecnologias digitais, tem potencial para orientar outras construtoras de pequeno porte, a adotarem as ferramentas da construção 4.0, apresentadas neste trabalho, como a internet das coisas, *big data* e *blockchain*, computação em nuvem, inteligência artificial, *machine learning*, uso de sensores, impressão 3D, computação móvel, drones, realidades virtual e aumentada e BIM.

Corroborando no mesmo sentido, Menegon e Da Silva (2023) concluem que é pequena a participação de pesquisas de países em desenvolvimento entre os estudos sobre tecnologias da I4.0 nas diferentes fases do ciclo de vida dos projetos de construção, demonstrando uma lacuna

a ser preenchida, a pesquisa aqui apresentada, estimulará e norteará outras empresas da construção civil implantem em suas organizações os conceitos abordados, e iniciem as etapas necessárias para implementação de forma mais objetiva, seguindo a metodologia proposta.

Com a evolução do sequenciamento das etapas para implementação das soluções digitais nessas empresas, o presente trabalho impactará positivamente a construtora estudada, com mudanças significativas e os investimentos serão traduzidos em benefícios como o aumento da eficiência operacional, melhoria na tomada de decisões, aperfeiçoamento do gerenciamento de projetos e capacitação e desenvolvimento profissional dos colaboradores. De mesmo modo, como elucidado no estudo de caso, também impactará economicamente a organização com os benefícios da redução do tempo para executar operações e atividades na empresa como elaboração de orçamentos de obra e gestão da saúde e segurança do trabalhador.

Diante disso, o produto gerado nesta pesquisa tem a principal finalidade em trazer a competitividade de mercado e relevância a empresa foco deste estudo, bem como pode ser adaptado para outras construtoras de pequeno porte, adotando as etapas de implantação aqui propostas.

1.2 OBJETIVOS

A presente pesquisa propõe os seguintes objetivos:

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo deste estudo consiste em propor uma metodologia de implantação de ferramentas e soluções digitais no contexto da construção 4.0, factíveis de implementação em uma empresa de pequeno porte da indústria da construção civil.

1.2.2 Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo geral supracitado, será necessário atingir os seguintes objetivos específicos:

- a) Identificar na literatura sobre a indústria 4.0, as lacunas existentes na implementação na construção civil e a importância da transformação digital na indústria da construção;
- b) Identificar as principais áreas da I4.0 ligadas à construção civil e explorar os conceitos;
- c) Relacionar os problemas na empresa em estudo e propor soluções para as dificuldades /problemas encontrados, considerando a teoria apresentada;

- d) Criar uma metodologia de implementação das soluções digitais na empresa estudada;
- e) Analisar os resultados da implementação das tecnologias na empresa estudada.

1.3 METODOLOGIA

Tendo em vista que o objetivo do trabalho é propor uma metodologia de implantação de ferramentas e soluções digitais no contexto da construção 4.0, factíveis de implantação em empresas de pequeno porte da indústria da construção civil, tem-se que a metodologia a ser aplicada está classificada da seguinte maneira, de acordo com Silva (2005) e Cauchick Miguel (2012), como segue.

- Quanto a natureza da pesquisa: aplicada;
- Quanto aos objetivos: exploratória e descritiva;
- Quanto a forma de abordagem: qualitativa-quantitativa;
- Quanto ao procedimento técnico: pesquisa bibliográfica, estudo de caso.

A classificação da Pesquisa quanto ao tipo de pesquisa é definida como sendo um Estudo de Caso do tipo único. Esta constatação é baseada nas afirmações que Yin (2014), que em sua classificação de tipos de pesquisa, mostra que este método tem perfil específico, adequado para responder às questões diretas, partindo da necessidade de resposta de como e porque, ou seja, questões de natureza explicativa, diretas e tratam de relações operacionais ou específicas que ocorrem ao longo do tempo.

Quanto a natureza essa pesquisa pode ser categorizada como aplicada, uma vez que seu propósito é investigar e confirmar a existência de um fenômeno específico, com objetivo claro e específico ou um resultado esperado.

Esta pesquisa possui elementos de natureza exploratória. Esta forma de abordagem de acordo com Figueiredo e Souza (2005), envolve investigação empírica, mas com o intuito de formular perguntas ou identificar um problema. Seus três principais objetivos são: desenvolver hipóteses, aumentar a familiaridade do pesquisador com o ambiente, fato ou fenômeno para embasar futuras pesquisas mais precisas, e esclarecer conceitos.

A pesquisa também é classificada como descritiva, visto que busca ordenar e expor as informações a respeito do assunto. A pesquisa descritiva exige do investigador uma série de informações sobre o que deseja pesquisar. Esse tipo de estudo pretende descrever os fatos e fenômenos de determinada realidade (TRIVIÑOS, 1987).

A pesquisa apresenta uma combinação da abordagem qualitativa e quantitativa. Segundo Gil (2017), as pesquisas quantitativas expressam seus resultados numericamente, enquanto as qualitativas fazem isso através de descrições verbais. Exemplos de pesquisas quantitativas incluem pesquisa experimental, ensaios clínicos, levantamentos, etc. Já as pesquisas qualitativas englobam estudos de caso, pesquisas narrativas, pesquisas-ação, entre outros.

Quanto ao procedimento técnico, foi inicialmente realizada uma pesquisa bibliográfica em livros, periódicos, trabalhos acadêmicos a fim de coletar informações referentes a indústria 4.0 e suas diversas áreas e transformação digital no setor da construção civil, bem como documentos e relatórios da empresa estudada. Além disso, foram realizadas buscas em banco de dados de bases científicas como Web of Science, Scopus, Scielo, sobre o tema abordado. A partir disso e através da literatura pesquisa, foi elaborada uma proposta de metodologia para implementação de ferramentas da I4.0, que servirá como um guia para as empresas de pequeno porte da construção civil fazerem essa adoção. Seguidamente foi feito um estudo de caso numa construtora de pequeno porte no Estado de Pernambuco, cujo objetivo foi a implementação de tecnologias e soluções digitais da Indústria 4.0, sendo dividido em 5 etapas: contexto da empresa, determinação das técnicas, diagnóstico, implementação na unidade-caso e discussões.

O estudo de caso foi estruturado e conduzido seguindo a metodologia de Gil (2017).

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

A dissertação está estruturada em cinco capítulos, os quais estão descritos a seguir:

Neste Capítulo 1, estão apresentados uma breve apresentação da dissertação, justificativa e relevância do trabalho, os objetivos geral e específicos e a metodologia da pesquisa, discutindo sua classificação quanto a natureza, aos objetivos, forma de abordagem, e ao procedimento técnico.

O Capítulo 2 expõe a fundamentação teórica, conceitos e a revisão da literatura que embasarão todo o trabalho.

O Capítulo 3 apresenta a proposta de metodologia de implantação de ferramentas e soluções digitais da construção 4.0 detalhando o produto gerado nesta pesquisa.

O Capítulo 4 detalha o estudo de caso, apresentado o contexto da unidade-caso, determinação das técnicas e coleta de dados, da implementação das soluções digitais na unidade-caso, os resultados parciais e discussões.

No Capítulo 5 são mostradas as conclusões do trabalho, as limitações da pesquisa, bem como sugestões para trabalhos futuros.

Por último, são elencadas as referências utilizadas no trabalho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO E REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo o referencial teórico reúne um conjunto de conceitos e teorias sobre a temática abordada, fundamentando a pesquisa. Já a revisão da literatura exporá análises, aplicações e síntese de resultados de trabalhos publicados sobre o tema da pesquisa.

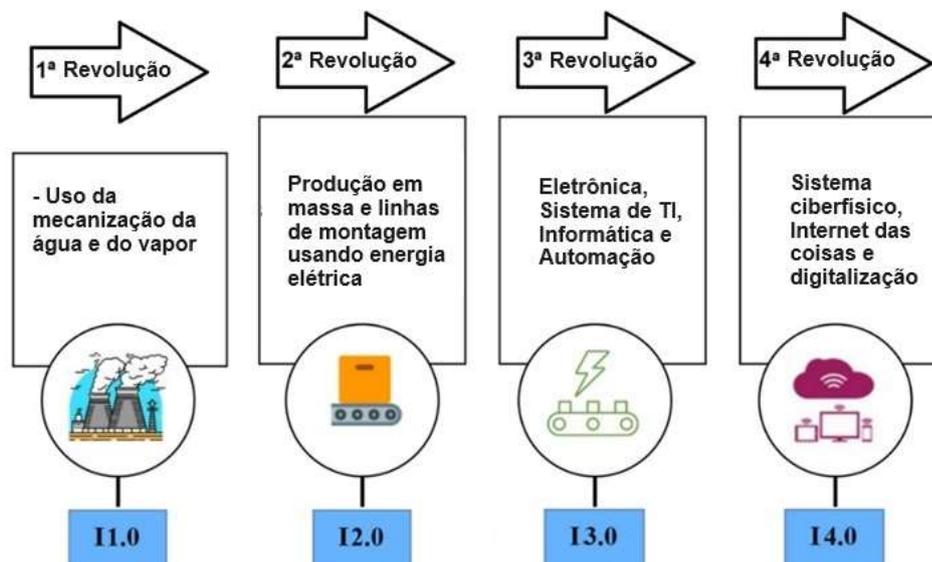
2.1 INDÚSTRIA 4.0

A evolução na ciência e na tecnologia sempre foi de suma importância desde o advento da Revolução Industrial (JOVANE *et al.*, 2008). Cada revolução industrial desempenhou um papel fundamental no crescimento do desenvolvimento atual. Musarat *et al.* (2023) escreve que equipamentos mecânicos movidos a água e vapor, foram introduzidos pela primeira vez na Primeira Revolução Industrial em 1700 e substituíram os setores agrícolas, aumentando ainda mais a estrutura econômica. Mokyr (1999) diz que já a Segunda Revolução Industrial entre 1870 e 1914 foi marcada por densa inovação baseada em conhecimento valioso sendo mapeado em tecnologia que impulsionou a indústria com produção em massa de baixo custo e alta eficiência de aço, telégrafos e ferrovias.

A Internet, a tecnologia da informação (TI) e o acesso generalizado a computadores pessoais no final da década de 1950 inauguraram uma nova revolução digital na qual procedimentos mecânicos e analógicos foram digitalizados e a fabricação em massa deu lugar à customização em massa (FISHER, 2015). Com o surgimento da eletrônica na década de 1970, iniciou-se a Terceira Revolução Industrial. Isso mudou o destino da humanidade no sentido de que microchips e supercomputadores revolucionaram quase todas as indústrias. A fome humana por evolução em ciência e tecnologia não pararam por aqui. No final do século 19 ou início do século 20, grandes quantidades de pesquisa em ciência e tecnologia deram origem à quarta revolução industrial. Assim, a Quarta Revolução Industrial tem como base a Revolução Digital, que conecta tecnologia e pessoas (LASI, 2014).

De modo geral, as três primeiras revoluções industriais são caracterizadas pelo aparecimento de ferramentas inovadoras que revolucionaram os processos produtivos, incluindo: máquinas a vapor, a aplicação do aço, motores elétricos e sistemas computacionais. Atualmente, vivenciamos a quarta revolução industrial, frequentemente chamada de Indústria 4.0. Esta etapa é marcada pela presença da Internet das Coisas, inteligência artificial, sistemas integrados e comunicação intra-industrial. (ANDERL, 2015). Esse processo evolutivo, que ocorreu ao longo do desenvolvimento industrial, pode ser observado na figura 1.

Figura 1. Evolução das revoluções industriais



Fonte: Adaptado de Singh, Goyat e Panwar (2023)

Li *et al.* (2017) apontam que os avanços nas tecnologias digitais, físicas e biológicas são os três principais impulsionadores da Quarta Revolução Industrial. No cerne dessa revolução está o progresso contínuo e significativo em cada uma dessas áreas, além da intensa convergência entre elas. Enquanto os principais impulsionadores tecnológicos para a Terceira Revolução Industrial vieram do campo do hardware, os impulsionadores tecnológicos para a Quarta Revolução Industrial têm origem principalmente no campo do *software*.

O advento da internet representa um dos fundamentos cruciais da quarta revolução industrial, pois possibilitou uma comunicação ágil e eficaz entre pessoas e equipamentos, independentemente da distância. Além disso, o avanço das tecnologias constitui outro alicerce importante, uma vez que viabiliza desde o desenvolvimento de sensores até a redução de custos de equipamentos (CAVALCANTI *et al.*, 2018). A quarta revolução industrial criou uma mudança de paradigma na indústria da construção em direção à transformação digital.

Segundo Simão *et al.* (2019), para viabilizar esse modelo de indústria inteligente, alguns aspectos cruciais são necessários, como adaptabilidade, otimização do uso de recursos e conexão entre todos os participantes, desde a geração de valor até a implementação estratégica. Para atingir esse objetivo, a Indústria 4.0 fundamenta-se em tecnologias como sistemas ciberfísicos, Internet das Coisas, *Big Data*, computação em nuvem e Machine Learning. Ao integrar essas tecnologias, busca-se tornar as etapas de produção mais autônomas e eficientes.

2.1.1 ÁREAS DA INDÚSTRIA 4.0

Singh, Goyat e Panwar (2023), argumentam que a geração de hoje está sendo alterada devido à disponibilidade de qualquer conectividade, em qualquer lugar e a qualquer hora. A ocorrência de dispositivos sem fio extraordinários e tecnologias móveis inteligentes fornece comunicação de baixo custo, sensores miniaturizados, bem como serviço econômico no prazo. Com a ajuda de novas infraestruturas de hardware, as indústrias alcançam um novo patamar em termos de qualidade e custo-benefício. Singh, Goyat e Panwar (2023) afirmam que a I4.0 está apoiada em 9(nove) pilares fundamentais e que tais pilares desempenham um papel importante no crescimento da manufatura industrial, são eles: Internet das coisas, *Big Data*, computação em nuvem, Inteligência Artificial, *Machine Learning*, sensoriamento inteligente, impressão 3D, tecnologia móvel e *blockchain*.

Internet das Coisas

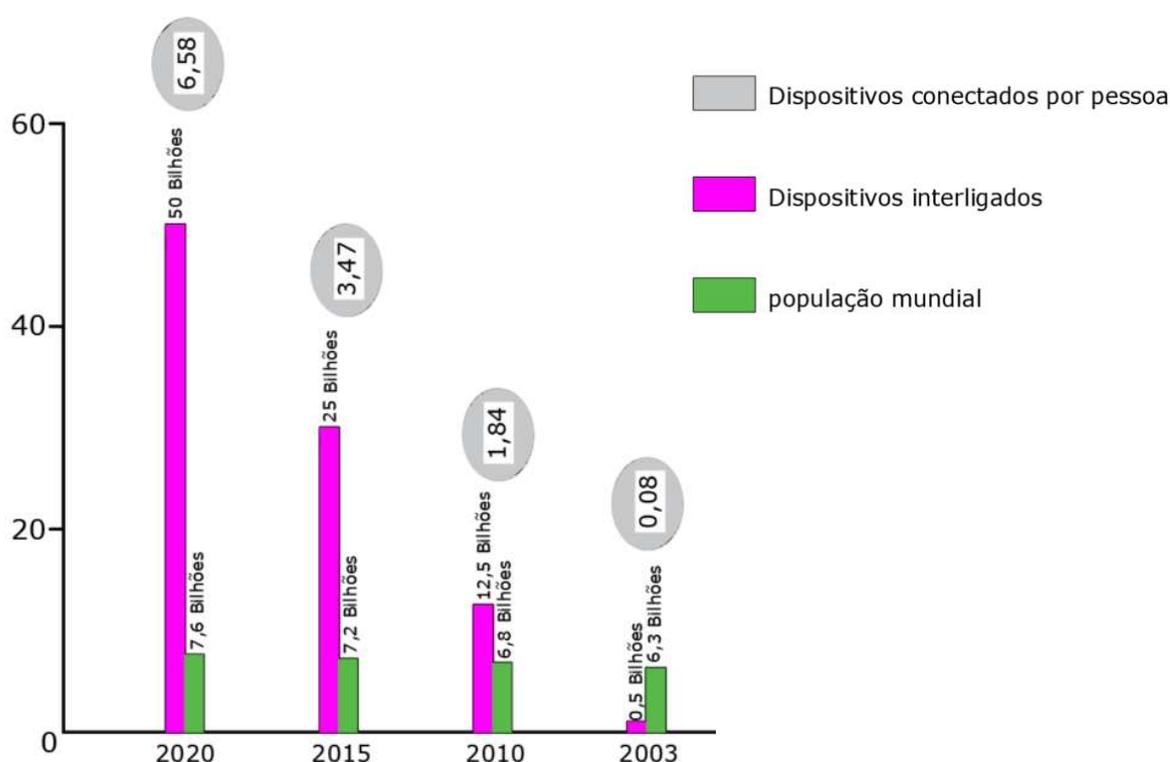
De acordo com Pataca (2021), o conceito fundamental da Internet das Coisas ou *Internet of Things* (IoT) está relacionado à habilidade dos objetos de comunicar-se e transmitir informações sobre seu estado e operação. Filho (2016), diz que a tecnologia da IoT consiste em conectar objetos de uso diário no mundo real com a Internet, transformando-os em objetos inteligentes. Já Wu *et al.* (2016) definem IoT como uma rede de hardware, *software*, dispositivos, bancos de dados, objetos, sensores e sistemas, todos trabalhando a serviço de parceiros da cadeia de suprimentos.

A IoT facilita a combinação de máquinas inteligentes, análise preditiva avançada e colaboração máquina-homem, levando ao aumento da produtividade, eficiência, eficácia e confiabilidade a um custo gerenciável (KAMBLE; GUNASEKARAN; GAWANKAR, 2018). Nesse direcionamento, a adoção da IoT em sistemas de produção e processos da cadeia de suprimentos (ou seja, compras, transporte e armazenamento) e também em uma ampla gama de indústrias/aplicações, como varejo, saúde, energia e serviços públicos, eletrodomésticos, equipamentos pesados e educação, aumente a uma taxa rápida (LEE; LEE, 2015). Manavalan e jayakrishna (2019) revelam que a IoT tem uma grande perspectiva para o monitoramento de dados em tempo real, extrair informações úteis, previsão de manutenção de baixo custo enquanto introduz método orientado a dados para criar valor extra.

Ademais, sobre os dispositivos IoT, explanado por Pataca (2021), eles costumam se conectar à internet por meio da rede IP (Protocolo de Internet). No entanto, dispositivos como Bluetooth e *Radio-Frequency Identification* (RFID) possibilitam a conexão local dos

dispositivos IoT, resultando em diferentes níveis de potência, alcance e memória utilizados. A conexão por meio de redes IP é comparativamente complexa e requer maior memória e energia dos dispositivos IoT, embora o alcance não seja um problema. Já as redes não IP exigem comparativamente menos energia e memória, mas possuem limitações de alcance. Segundo o mesmo, é previsto que em 2020 tenha cerca de 50 bilhões de dispositivos conectados, o que equivale a uma média de 6,8 dispositivos por pessoa. O gráfico 1 abaixo demonstra o crescimento dos dispositivos IoT nos últimos anos.

Gráfico 1. Crescimento dos dispositivos IoT versus população mundial



Fonte: Adaptado de Pataca (2021)

Nesse contexto, em resumo, a visão da Internet das Coisas é incorporar recursos de comunicação dentro de uma rede de dispositivos heterogêneos altamente distribuída, ubíqua e densa para permitir novas aplicações e serviços inteligentes (AMAN *et al.*, 2020).

Big Data e Blockchain

Bilal *et al.* (2016) discorrem que *Big Data* (BD) é a capacidade emergente de armazenar e analisar grandes volumes de dados de forma escalável e confiável usando um cluster de servidores de commodities. O interesse em utilizar as informações do *Big Data* vai além de

entender tendências latentes, através de análise exploratória e descritiva, incluindo também análise preditiva e prescritiva, a fim de prever e moldar eventos futuros.

A BD tem um papel significativo na indústria e até mesmo em muitas organizações e empresas de outros setores. Com o passar do tempo, o tamanho dos dados disponíveis cresce drasticamente. Consequentemente, são criados dados massivos, o que requer ser bem manuseado e organizado com técnicas/ferramentas adequadas (QI; XU; RANI, 2023).

Nesse universo, Aceto, Persico e Pescapé (2020) levantam que uma caracterização comumente aceita e concisa baseada em cinco Vs captura o maior e mais citado conjunto comum de propriedades associadas ao *Big Data*: (i) Volume (aumento da escala de dados); (ii) Velocidade (a coleta e análise estão sujeitas a limites de tempo); (iii) Variedade (os dados são compostos por vários tipos, ou seja, dados estruturados, não estruturados e semiestruturados); (iv) Veracidade (os dados possuem graus variados de confiabilidade, de acordo com a proveniência, manejo e processamento); (v) Valor toda a arquitetura visa a extração de valor econômico). Esta caracterização 5-V destaca a forte natureza dependente do contexto do *Big Data*, que é assim definido necessariamente com referência a aplicações específicas (Valor) e restrições técnicas (Volume, Velocidade, Variedade, Veracidade). Esses requisitos peculiares – desafiando as tecnologias disponíveis por definição de *Big Data* – geraram inovações significativas sobre técnicas e ferramentas de gerenciamento de dados nas últimas duas décadas, também alavancando a Computação em Nuvem como um facilitador para os novos paradigmas distribuídos (ACETO; PERSICO; PESCAPÉ, 2020).

Big Data também se relaciona com o Blockchain, termo utilizado para nomear um sistema de contabilidade distribuído baseado em um ambiente descentralizado que protege grandes quantidades de dados gerados na organização. Assim, atua como um banco de dados global de manutenção de registros e um serviço central de armazenamento e verificação sem as limitações de armazenamento de dados offline (ALDABOUBI, 2020). De acordo com Chen *et al.* (2022), dizem que Blockchain é um conjunto de transações digitais de forma distribuída e fornece um livro-razão que está disponível publicamente em uma rede *peer-to-peer*. Ele fornece um conjunto de registros imutáveis e descentralizados entre todos os contribuidores. A tecnologia blockchain tem o potencial de ser a pedra angular do processo e produção automatizados.

Nessa esfera, o BD é o uso do Blockchain para criar uma rede de armazenamento, bancos de dados que podem combinar dados extensos para criar novas coleções de dados. Isso pode criar novos tipos de modelos de negócios, muito relevantes para segmentos de *Big Data*, como moedas digitais e aplicativos de identidade digital. Ambas as tecnologias fornecem uma maneira de fazer várias coletas extensas de dados sem as limitações de serem armazenadas off-

line ou usando um centro de dados. *Big Data* usa dados para serem armazenados e processados como dados e torna as coletas de dados mais estáveis e confiáveis. No entanto, algumas empresas precisam considerar a segurança dos dados para adotar o Blockchain para proteger seus ativos e necessidades de privacidade (SALDAMLI; RAZAVI, 2020).

Computação em nuvem

Segundo Paz e Loos (2020), a computação em nuvem oferece acesso a recursos de computação praticamente ilimitados e fornece serviços baseados na internet das coisas que permitem a interconexão de equipamentos industriais e robôs por meio de sensores sofisticados que geram centenas de milhares de informações por segundo. Essas informações são armazenadas e processadas com extrema velocidade, permitindo alcançar novos níveis de eficiência, produtividade e qualidade.

De outro lado, a arquitetura da computação em nuvem combina os aspectos da arquitetura cliente-servidor com a centralização de recursos em centros de processamento de dados, conhecidos como *data centers*. Esses *data centers* são compostos por componentes de alta tecnologia e oferecem serviços de infraestrutura de TI de valor agregado, processando e armazenando grandes quantidades de dados para organizações de diversos tipos (VERAS, 2012). Além disso, esses *data centers* podem estar localizados em diferentes países, proporcionando uma ampla cobertura global (SILVA *et al.*, 2020).

A nuvem significa uma grande mudança na forma como os sistemas de TI são criados, estabelecidos, implementados, expandidos, atualizados, retidos e compensados. A nuvem garante fornecer a funcionalidade dos serviços de TI atuais, reduzindo drasticamente os custos iniciais de computação que impedem que várias organizações utilizem inúmeras instalações de TI de ponta (DAI *et al.*, 2022).

A computação em nuvem suporta mobilidade do usuário, heterogeneidade, recursos amigáveis e análise de dados distribuída para resolver os vários problemas relacionados à rede. É o aparato mais influente que suporta a descentralização e o processamento inteligente de dados extraordinários gerados por vários dispositivos de sensores baseados em IoT implantados para integrar o mundo físico ao ambiente cibernético (SINGH; GOYAT; PANWAR, 2023).

A computação em nuvem na Indústria 4.0, melhora a entrega do serviço no prazo, resolvendo vários problemas baseados em rede, como atraso, despesas gerais, tremulação, custo computacional e complexidade, porque os dados são armazenados nas nuvens (XU *et al.*, 2018).

Dessa forma, a redução de custos é considerada um dos principais benefícios da

computação em nuvem, pois ao não adotar esse modelo, as organizações teriam que avaliar os investimentos necessários para adquirir recursos e instalá-los, o que pode ser uma análise complexa e dispendiosa (MEIJER; BROWN, 2014).

Inteligência Artificial e Machine Learning

A inteligência artificial (IA) é o resultado da quarta revolução industrial. O campo da inteligência artificial se concentra apenas em projetar máquinas que possam imitar o comportamento humano. Isso torna o *software* “mais inteligente” de tal forma que, para o observador externo, a saída parece ser gerada por um humano (KHANAM *et al.*, 2019).

Verganti, Vendraminelli e Iansiti (2020) suscitam também que o valor da IA na era da indústria 4.0 é explorado na inovação de produtos de modo a analisar uma ampla gama de dados, como clientes, mercados e o ambiente econômico, o que pode aumentar a probabilidade de sucesso de desenvolvimento de novos produtos.

De outro modo, Singh, Goyat e Panwar (2023) discorrem que o aprendizado de máquina é uma subseção da IA que facilita o sistema para aprender e agir como um humano para a tomada de decisões. Um inteligente precisa de práticas contínuas para aprender e obter resultados efetivos em comparação com envolvimento anteriores. Os problemas são resolvidos aprendendo com dados proficientes e melhorando os resultados sem usar programação óbvia. O ML avalia as circunstâncias práticas, reconhece o padrão e dá uma solução apropriada (RAO *et al.*, 2022).

Nesse âmbito da Indústria 4.0, o aprendizado de máquina é aplicável em vários setores, como manufatura, automação médica, finanças e telecomunicações. Além disso, a detecção e a previsão de COVID-19 e vírus generalizado envolveram-se com o aprendizado de máquina (SOMMER; STJEPANDIĆ, 2022).

Sensores

Um sensor é um dispositivo que detecta o estímulo de entrada, que pode ser qualquer quantidade, propriedade ou condição do ambiente físico, e responde a um sinal digital mensurável. Por exemplo, o estímulo de entrada pode ser pressão, força, fluxo, luz, calor, movimento, umidade ou qualquer um de um grande número de outros fenômenos ambientais. A saída de resposta é geralmente uma forma elétrica de um sinal, como a tensão, corrente, capacitância, resistência, frequência, etc., que é convertido em display legível ou transmitido

por meios eletrônicos através de uma rede para leitura ou outra dispensação (HUANG *et al.*, 2021; QIAN *et al.*, 2021)

Os sensores conectam vários dispositivos e sistemas e permitem que várias máquinas se comuniquem para rastrear sistemas e equipamentos em cada instalação. A combinação do poder computacional local e da Internet das Coisas transformou sensores comuns em sensores inteligentes, de modo que os dados medidos são calculados localmente em um módulo de sensor de maneira complexa. Os sensores tornaram-se incrivelmente compactos e altamente portáteis com suas capacidades expandidas, de modo que podem ser conectados a dispositivos de difícil acesso e potencialmente perigosos, que transformam os dispositivos em intelectuais de alta tecnologia (SCHÜTZE; HELWIG; SCHNEIDER, 2018; ALI *et al.*, 2021).

Consoante com o explanado, Ageyeva, Horváth e Kovács (2019) relatam ainda que os sensores permitem que o usuário detecte e registre de forma confiável e remota o feedback do mundo real, desde o movimento até as mudanças de temperatura e os sinais elétricos. Eles fornecem uma solução de dispositivo completa e voltada para o futuro para qualquer aplicação de fabricação e conectores inteligentes são uma parte essencial para garantir que ele funcione corretamente

Impressão 3D

A Manufatura Aditiva, comumente chamada de impressão 3D, tem impactado de forma constante os cenários de desenvolvimento e produção. Há algum tempo, arquitetos e engenheiros estão em busca de uma solução para a impressão 3D no que diz respeito a estruturas de grande porte (YUAN; CHEN; ZHANG, 2018).

No âmbito da Manufatura Aditiva, surge uma nova abordagem para construção, possibilitando a criação de elementos sem restrições geométricas, combinando materiais já empregados na construção convencional a novos materiais, resultando em conjuntos e formas com características mais marcantes que as convencionais. Esses elementos inovadores podem apresentar propriedades mecânicas especiais, tornando-os mais resistentes, leves e facilitando seu transporte e produção, mesmo em locais de difícil acesso. Tal progresso se deve à crescente inclinação para a inovação impulsionada pelas transformações no campo do design computacional e pelas ferramentas avançadas de fabricação digital (NABONI; PAOLETTI, 2015).

Pajpach *et al.* (2022) explanam no mesmo sentido que a impressão 3D suporta a criação de várias estruturas e geometrias complicadas usando metal, ferro e plástico que atrai a atenção

de especialistas devido ao seu crescente investimento. A demanda de impressão 3D está aumentando dia a dia por causa da redução no custo de fabricação, produzir produtos de qualidade, flexíveis, convenientes e acelerar o processo de produção. Além disso, minimiza o peso total dos itens, reduz o transporte e reduz o desperdício na produção que é mais benéfico para as indústrias de manufatura, automotiva e aeroespacial.

Computação móvel

A computação móvel consiste em sistemas computacionais distribuídos em diferentes dispositivos que se comunicam entre si através de uma rede de comunicação sem fio, o que permite a mobilidade desses aparelhos. Os computadores móveis devem executar aplicativos em nível de usuário e sistema sujeitos a uma variedade de restrições de recursos que geralmente podem ser ignoradas em ambientes de desktop modernos. A fim de fornecer aos usuários um ambiente de computação razoável, que se aproxime do melhor disponível atualmente, recursos permitirão que aplicativos e/ou *software* de sistema se adaptem a níveis de recursos limitados ou flutuantes (ADELSTEIN *et al.*, 2005).

Borges *et al.* (2015) acrescentam ainda que com a crescente popularidade dos dispositivos móveis, uma variedade de recursos e aplicações pode ser empregada para suporte gerencial, administrativo e operacional em diversos setores. Entre os dispositivos que oferecem mobilidade, smartphones e tablets são particularmente significativos. No cerne, esses dispositivos são computadores com memória para armazenamento de programas ou dados, possuem unidades lógicas e aritméticas, aceitam informações do usuário através de um teclado, muitas vezes virtual, e apresentam informações através de uma tela de alta resolução. Como resultado, surge a necessidade de adaptá-los para a indústria e produção como uma ferramenta vital para apoiar a logística e a comercialização. Fatores como tempo, velocidade e acessibilidade das informações fornecidas são cruciais para a tomada de decisão.

Elazhary (2019) explana a literatura em igual sentido afirmando que embora a palavra móvel normalmente se refira a smartphones, ela é aplicável a todos os dispositivos programáveis, portáteis, sem fio e convenientemente mantidos, incluindo, mas não limitado a tablets, pads, smartwatches e laptops. A vantagem de tais dispositivos é que eles podem ser usados em qualquer lugar e a qualquer momento.

2.2 O SETOR DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Vieira e Nogueira (2018) discorrem que vários segmentos são cruciais para o avanço e fortalecimento econômico de uma nação, especialmente aqueles que exercem grande impacto na economia e mantêm relações estreitas com outros setores. Entre esses, destaca-se a Construção Civil. Esta indústria representa um dos pilares produtivos mais significativos da economia, contribuindo de maneira expressiva para a criação de empregos diretos, ou seja, aqueles diretamente associados à construção, bem como para a geração de uma vasta quantidade de empregos indiretos em outros ramos industriais, tais como os campos da ciência e tecnologia. Além disso, tem um papel robusto na arrecadação de impostos e é a força motriz por trás da construção de toda a infraestrutura de um país. Dessa forma, favorece o crescimento de toda a cadeia produtiva.

Yoon *et al.* (2013) também corroboram desse argumento e diz que a construção civil sempre foi um setor importante na economia global, haja vista que essa indústria movimentava uma cadeia ampla de setores num país. Além disso, ela exerce um impacto notável na saúde e segurança dos trabalhadores, consolidando a importância econômica e social dessa indústria.

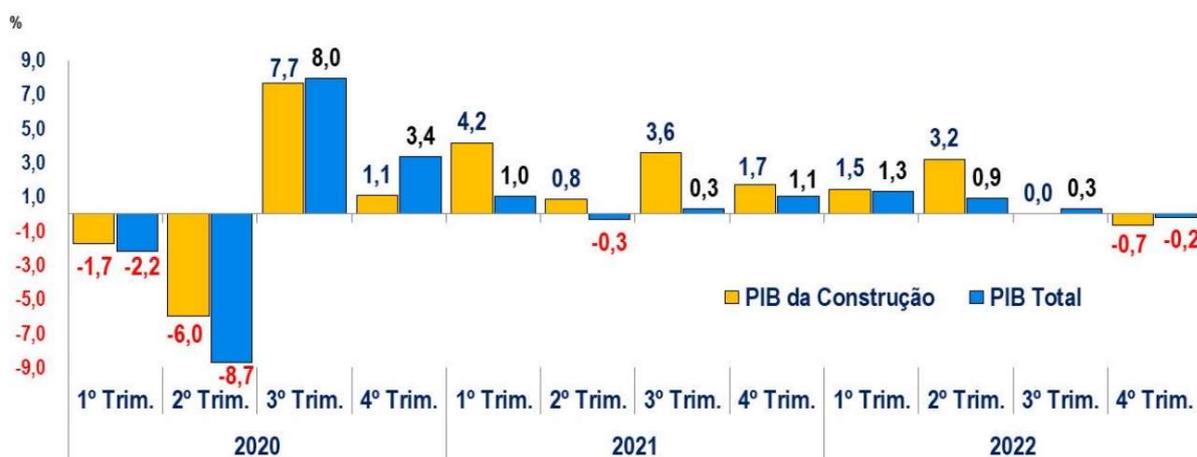
O setor da construção civil engloba uma variedade de serviços que requerem mão de obra especializada e o uso de diversos tipos de materiais. Naturalmente, todas as atividades relacionadas acarretam custos. Se esses custos se tornarem muito altos, a capacidade de investimento na indústria da CC é reduzida, pois ameaça a rentabilidade do capital investido (VIEIRA; NOGUEIRA, 2018)

A Indústria da construção é um setor intensivo em capital e de alta complexidade econômica, devido ao alto número de áreas envolvidas em suas atividades, tornando-se crucial o uso de ferramentas para obtenção de melhorias em sua gestão, visto que este setor é repleto de problemas complexos (DARKO *et al.*, 2020; MURTAZOVA; KHADISOV, 2022).

Assim como outros países em fase de desenvolvimento, o Brasil enfrenta um déficit significativo em termos de infraestrutura e habitação. A economia teve seus altos e baixos, mas o impacto do setor de construção civil no Produto Interno Bruto e na criação de empregos é bastante expressivo. Durante a pandemia da Covid-19, o setor experimentou um declínio, resultando em mais de 12 milhões de indivíduos desempregados. Contudo, a partir do início de 2022, indícios de recuperação começaram a emergir na construção civil, com um surpreendente aumento de 150% na criação de empregos comparado ao ano anterior, conforme indicado pelo Sienge (2022).

Dados da Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC) (2022), mostram que o setor da Construção Civil tem se destacado positivamente, superando o crescimento da economia nacional. No segundo trimestre de 2022, houve um crescimento de 2,7% na construção civil, segundo os dados do Produto Interno Bruto (PIB) compilados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Este aumento ultrapassa a expansão econômica do país no mesmo período, que foi de 1,2%. Os números evidenciam a força do setor da Construção Civil e sua relevância para o desenvolvimento do Brasil. Porém, é importante salientar que, apesar do desempenho favorável, o setor ainda se encontra 23,69% abaixo do seu pico de atividade, registrado no início de 2014. O gráfico 2 mostra a evolução trimestre a trimestre do ano 2020 ao ano de 2022.

Gráfico 2. PIB Construção civil e PIB Total – Variação (%) no trimestre de 2020 a 2022



Fonte: IBGE (2022)

O PIB da Construção Civil consistentemente superou o desempenho da economia nacional em várias bases de comparação. No segundo trimestre de 2022, por exemplo, houve um aumento expressivo de 9,9% na construção civil, comparado ao mesmo período de 2021. Nesse mesmo intervalo, o crescimento da economia do país foi de 3,2%. Os resultados acumulados do primeiro semestre de 2022 também demonstram o desempenho robusto do setor. Nesse período, o crescimento foi de 9,5% em comparação com o mesmo período do ano anterior, enquanto a economia nacional registrou crescimento de apenas 2,5%. Considerando a taxa acumulada dos últimos quatro trimestres de 2022, a construção civil apresentou um crescimento de 10,5%, enquanto a economia do país cresceu 2,6% (CBIC, 2022). O gráfico 3 mostra a evolução da variação do PIB Brasil e do PIB da construção civil, compreendida no período de 2010 a 2022.

Gráfico 3. Evolução da variação (%) do PIB Brasil e do PIB da Construção Civil de 2010 a 2022



Fonte: IBGE (2022)

2.3 TRANSFORMAÇÃO DIGITAL NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL

O termo "digitalização" refere-se ao uso de várias tecnologias digitais e serviços baseados na web que permitem o armazenamento, transferência e troca de grandes quantidades de dados, além de auxiliar, substituir ou colaborar com os seres humanos no trabalho (HALLIN *et al.*, 2022). A transformação digital (TD) é incontornável na era da Indústria 4.0. A pandemia de Covid-19 também contribuiu para acelerar a digitalização em prol do crescimento econômico. Em resposta às pressões regulatórias, às demandas dos clientes e à concorrência, a transformação digital tornou-se essencial para as organizações atualmente. Esse processo consiste no uso de tecnologias da informação e comunicação para promover mudanças nas atividades de comunidades, empresas e governos na condução de processos de negócios, sendo conhecido como transformação digital. Ademais, a TD visa aprimorar uma entidade, gerando mudanças significativas em suas características por meio do uso de tecnologia da informação, computação, comunicação e conectividade (VIAL, 2019).

Conforme Brynjolfsson e Hitt (2000), a transformação digital pode aprimorar o desempenho organizacional ao fornecer produtos ou serviços que se adaptam às preferências dos clientes, aumentando a satisfação do cliente e diminuindo os custos. Mudanças e transformações são impulsionadas pela tecnologia digital e construídas com base nela. A TD é caracterizada dentro de uma empresa como a transição para o uso de *Big Data*, análises, computação em nuvem, dispositivos móveis e plataformas de mídia social. À medida que as organizações se adaptam e evoluem em resposta às mudanças no ambiente de negócios, a transformação digital representa uma mudança fundamentada na tecnologia digital,

introduzindo alterações distintas nas operações comerciais, nos processos de negócios e na geração de valor (NWANKPA; ROUMANI, 2016).

Verhoef *et al.* (2021) identificam três principais motivos pelos quais as empresas devem se transformar digitalmente: evolução na tecnologia digital, aumento da concorrência digital e mudanças no comportamento do consumidor em resposta à revolução digital. De acordo com Morakanyane, Grace e O'reilly (2017), um dos efeitos da transformação digital em uma organização é o desenvolvimento de vantagem competitiva. Eles também afirmam que a transformação digital deve ser encarada como uma abordagem organizacional abrangente, em vez de simplesmente mudar a forma de operação de online para analógica ou de analógica para digital. A TD é vista como um processo contínuo e sem fim.

A utilização crescente de ferramentas computacionais nos cálculos estruturais, no georreferenciamento, na gestão de projetos e até mesmo no canteiro de obras com tecnologias como trenas infravermelhas, níveis a laser e estações topográficas computacionais, está se tornando cada vez mais comum. No entanto, essas iniciativas ainda são modestas e algumas delas estão ganhando maior difusão nos canteiros de obras (PORTUGAL, 2016).

Simão *et al.* (2019), suscitam que entre as inovações tecnológicas, algumas se destacam e são amplamente debatidas no âmbito acadêmico, como: o uso de drones para monitoramento de obras, tablets para controle e execução de projetos, equipamentos robotizados no canteiro de obras, o *software Roff it* (que auxilia no projeto de coberturas), o *Tripod Archi* (dispositivos de medição que convertem medições em plantas e maquetes 3D) e o BIM (Building Information Modeling). O BIM representa um progresso notável na aplicação de *softwares* para projetos de engenharia. Essa modelagem de informações da construção já é uma realidade, permitindo projetos mais precisos, entregues em prazos menores e com menor probabilidade de problemas durante a obra. Já no âmbito da gestão de obras, ferramentas como o *Construct* buscam aumentar a produtividade no canteiro de obras, possibilitando o monitoramento das atividades em tempo real.

Portugal (2016) afirma ainda que, mesmo em projetos de construção de menor porte, a integração e digitalização trazem benefícios consideráveis em termos de redução de falhas e aumento de eficiência e produtividade.

Segundo Amorim *et al.* (2021), o país não é considerado um dos líderes na criação de soluções tecnológicas para o setor da Construção Civil. De acordo com a pesquisa mundial "Transformação Digital: O Futuro da Construção Conectada", realizada pela consultoria IDC em 2020, o Brasil apresenta avanço da indústria da construção impulsionado por colaborações entre setores público e privado. Apesar da diminuição no financiamento de projetos de

infraestrutura pública e alterações regulatórias foram implementadas com o objetivo de atrair mais investimentos privados. No que se refere à adoção de tecnologias, a indústria da construção brasileira encontra-se atrás de seus pares internacionais no emprego das tecnologias mais recentes, especialmente *Big Data* e análises, inteligência artificial e modelagem 3D. Entretanto, há uma tendência de aproximação aos padrões globais de construção.

De acordo com Wang *et al.* (2022), impulsionar a inovação tecnológica no nível da empresa é uma oportunidade para organizações públicas e privadas desenvolverem, aprimorarem e renovarem sua competitividade no mercado, a qualidade de seus projetos e a estrutura cooperativa da indústria da construção como um todo.

Adekunle *et al.* (2021) identificaram os vários aspectos da transformação digital na indústria da construção, enfatizaram a necessidade de um maior esforço para alcançar a TD na construção, devido às etapas e facetas únicas desse processo nessa indústria, que a distinguem de outras. Ernstsén *et al.* (2021) apresentaram três visões emergentes para a transformação digital: design computacional orientado a valor, construção eficiente e ambiente construído orientado por dados do usuário. Por meio de entrevistas semiestruturadas, Wang *et al.* (2022) destacaram que o investimento em tecnologias digitais é uma grande preocupação para a alta administração, uma vez que a TD requer altas iniciativas para garantir a disponibilidade de novas tecnologias e pessoal capacitado nas empresas. A alta administração deve compreender o significado estratégico da transformação digital. Essa transformação é um processo de longo prazo que demanda grandes investimentos, e os benefícios só podem ser observados após anos, sem garantia de sucesso (CHEN *et al.*, 2021).

Na prática, a transição para a era digital depende do desenvolvimento da próxima geração de habilidades digitais e da colaboração (WANG *et al.*, 2022). As empresas não podem alcançar instantaneamente a transformação digital sem contar com talentos relevantes (AGRAWAL; NARAIN; ULLAH, 2019), no entanto, Khahro *et al.* (2021) alinham que a força de trabalho da indústria da construção possui uma lacuna considerável em habilidades digitais. Portanto, é necessário que as empresas desenvolvam planos estratégicos e programas de treinamento para atrair talentos potenciais capazes de utilizar tecnologias e soluções digitais, e que possuam visão de longo prazo para os negócios.

Além disso, Shahi e Sinha (2020) afirmaram que é importante garantir um compartilhamento efetivo de informações e a colaboração entre os diferentes departamentos da empresa, a fim de obter mais recursos e ser mais competitivo no novo mercado. Kohnke, Reiche e Balla (2016) também demonstraram que a cultura digital valoriza mais a colaboração do que o esforço individual. Portanto, as empresas devem aproveitar as oportunidades de cooperação

e fortalecer sua rede de cadeia de suprimentos, a fim de melhorar sua competitividade no processo de TD.

2.4 CONSTRUÇÃO 4.0

Segundo Musarat *et al.* (2022), a digitalização é a nova norma na indústria da construção, seguindo a adaptabilidade da quarta revolução Industrial. Na indústria da construção, a transformação digital requer uma variedade de tecnologias, métodos recentemente propostos utilizando tecnologia digital para o desenvolvimento do setor de construção, otimização de energia, meio ambiente sustentável, construção inteligente para oferecer uma melhor qualidade de vida, crescimento econômico e arquitetônico, tecnologia sem fio para comunicação efetiva, e manutenção de edifícios (MUSARAT *et al.*, 2021).

Semelhante ao setor manufatureiro, o setor de construção também pode ser um importante beneficiário da I4.0. A implementação da I4.0 garantirá que a eficiência da produção seja alcançada por meio da utilização de tecnologias avançadas, como automação mecanizada, para operar sem intervenção humana. Os benefícios são bastante óbvios, pois esta implementação não apenas melhora a qualidade do produto, mas também reduz o tempo de distribuição, o que aumentará ainda mais o desempenho da operação (NAWI *et al.*, 2021).

A transição para uma digitalização mais avançada resultou em um conceito inovador denominado Construção 4.0. O termo Construção 4.0 foi derivado do conceito Indústria 4.0, que tem suas raízes no setor manufatureiro alemão (OSUNSANMI; AIGBAVBOA; OKE, 2018). A Construção Civil 4.0 adapta-se à estrutura da Indústria 4.0, incorporando sistemas ciberfísicos e tecnologias digitais avançadas em sua prática, de acordo com Sawhney *et al.* (2020).

Segundo o Fórum Econômico Mundial (WEF, 2016), a adoção da tecnologia digital aumenta a produtividade, agiliza o gerenciamento e os procedimentos de projetos e aumenta a qualidade e a segurança. Para se alinhar com a Industrial 4.0, a indústria da CC precisa se transformar significativamente, implantando tecnologias (SHAFEI *et al.*, 2022). O advento da I4.0 é essencial para a transformação suave da indústria da construção em direção à digitalização (SUBRAMANIAN, 2022).

A digitalização na construção transformou os projetos de construção do planejamento ao fechamento (WIJAYASEKERA, 2022) devido ao envolvimento de várias tecnologias, como automação, segurança cibernética, Internet das Coisas, drones, Building Information Modeling (BIM), impressão 3D, Realidade Aumentada, etc (MUSARAT *et al.*, 2022). Silva, Simão e

Menezes (2018) resumem que a inserção de diversas tecnologias que estão trazendo mudanças significativas no modo de trabalho da CC, são os drones, a computação em nuvem, realidade aumentada e virtual, manufatura aditiva, BIM e rastreamento automático.

Embora a indústria da construção tenha um imenso potencial, o único caminho a seguir para alcançar a máxima eficiência e produção é através da incorporação de novas tecnologias, digitalização e inovação para a indústria da construção. A incorporação de ferramentas recém-evoluídas da indústria que já se estabeleceram como auxílios bem-sucedidos para a indústria da construção, como digitalização tridimensional, uso de drones e modelagem de informações, deve ser incorporada às práticas e percepções atuais do negócio da construção, o caminho escolhido para lidar com essas dificuldades será significativamente melhorada (NAWI *et al.*, 2021).

A literatura é ampla, quando se trata das diversas áreas da Construção 4.0, na pesquisa de Oesterreich e Teuteberg (2016) os autores relacionam 16 (dezesesseis) áreas da I4.0 ligadas a construção civil, Balasubramanian *et al.* (2021) referenciam pelo menos 23 áreas, outros autores como Zhang *et al.* (2023) identificam 14 tecnologias digitais utilizadas na indústria da CC, já Silva, Simão e Menezes (2018) resumem que a inserção de diversas tecnologias como os drones, a computação em nuvem, realidade aumentada e virtual, manufatura aditiva, BIM e rastreamento automático, estão trazendo mudanças significativas no modo de trabalho da construção civil (CC).

Diante desse cenário diversificado que os pesquisadores abordam na literatura, a Construção 4.0 adota as tecnologias da I4.0 explanadas anteriormente como computação móvel, Impressão 3D, sensores, computação em nuvem e IoT. Outras soluções digitais mencionadas por Silva, Simão e Menezes (2018) relevantes e incorporadas à construção civil como drones, realidades aumentada e virtual e BIM, são apresentadas e conceituadas a seguir.

Drones

O termo genérico "drone" se refere a aeronaves (ou sistemas aéreos) capazes de voar sem um operador humano a bordo. Essa tecnologia teve suas origens em aplicações militares, e embora esse mercado ainda seja relevante, as aplicações civis vêm demonstrando um enorme potencial de crescimento. Os drones ganharam ampla aceitação popular desde a introdução dos quadricópteros no final dos anos 2000, e a partir de 2012, houve um aumento significativo no uso dessas plataformas no âmbito civil e comercial. O sucesso subsequente pode ser atribuído, em parte, à redução dos preços e à eficiência dos drones como ferramenta para coletar imagens

e dados precisos em áreas de difícil acesso ou cuja observação a partir do solo seja limitada (FALORCA; LANZINHA, 2018).

Conforme afirmado por Gouveia *et al.* (2021), os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) os primeiros modelos eram robustos e de grande porte, entre 2008 e 2012 versões aprimoradas desses equipamentos foram empregadas pelos americanos em ataques aéreos. Atualmente, existem versões mais compactas e esteticamente modernas desses veículos, amplamente utilizadas para recreação ou na indústria cinematográfica. Os drones desempenham um papel crucial na coleta de dados variados, incluindo informações sobre infraestrutura, seja de concreto armado ou metal. Eles podem fornecer imagens de alta definição, identificando potenciais patologias ou pontos de solda mal posicionados. Além disso, com o auxílio de tecnologias como a termografia infravermelha, é possível coletar imagens com alto nível de detalhe, capazes de evidenciar diferenças na radiação térmica de diferentes partes de uma instalação elétrica, auxiliando assim na sua manutenção (GOUVEIA *et al.*, 2021).

Ruggiero, Salvo e Laurent (2016) destacam os drones no topo das preferências entre as novas tecnologias robóticas no setor da construção. Segundo Mosly (2017), a utilização desses equipamentos pode ajudar a reduzir o tempo das atividades, aumentar a qualidade do trabalho, melhorar os padrões de segurança e diminuir os custos. As aplicações podem incluir monitoramento das atividades de construção, levantamentos topográficos, fotografia e vigilância, inspeção visual em locais de difícil acesso, inspeção de segurança no local, orçamentação, detecção de anomalias e defeitos na construção e interação com os trabalhadores.

Melo (2017) discorre que um outro aspecto importante é o monitoramento em tempo real da obra, permitindo inspeções frequentes em áreas extensas, prevenção de acidentes e resposta rápida a eventuais problemas, resultando em economia de tempo em comparação ao processo tradicional. Na etapa de levantamento de campo, tecnologias como fotogrametria e *LIDAR* são utilizadas em conjunto com os drones, combinando fotos em alta definição com varredura 3D e sistemas de informações geográficas, aprimorando a velocidade e a precisão do levantamento realizado pelos drones (AGARWAL; CHANDRASEKARAN; SRIDHAR, 2016).

Oke *et al.* (2023) apresentam em seus estudos que os drones de monitoramento podem ajudar os gerentes de projeto a acompanhar o andamento das atividades, fornecendo-lhes uma visão aérea completa do canteiro de obras, o que muitas vezes não é possível pela inspeção tradicional. O monitoramento manual das atividades do local pode abrir a possibilidade de obtenção de resultados não confiáveis devido à incapacidade de acessar áreas perigosas. No entanto, os drones de monitoramento possuem uma visão panorâmica que tem a capacidade de

ampliar áreas perigosas e impossíveis de serem acessadas por humanos. Assim, relatórios em tempo real, dados de construção e imagens de alta resolução podem ser gerados por drones de monitoramento e compartilhados com as equipes de construção.

Realidades Virtual e Aumentada

Conforme Kirner e Kirner, (2011), as técnicas de interface computacional que incorporam o espaço tridimensional, como a realidade virtual (RV), realidade aumentada (RA) e suas variações, permitem ao usuário uma experiência multisensorial. Ao explorar este espaço, os sentidos da visão, audição e tato são ativados, com a possibilidade de adicionar outras percepções sensoriais, como o olfato e o paladar, dependendo da tecnologia utilizada. Além disso, sensações corpóreas como frio, calor e pressão são incluídas na percepção tátil, que é transmitida através da pele.

A RA é uma tecnologia interativa recente que integra informações digitais ao ambiente físico. Em outras palavras, é uma tentativa de adicionar dados virtuais ao mundo real em tempo real (DUNLEAVY, 2014).

Hussein (2022) sintetizaram as várias aplicações da RA em diversas áreas, como projetos e construções, a RA é usada para visualizar e simular obras e modelos de projeto em tempo real dentro de suas configurações físicas reais para identificar qualquer possível problema nos estágios iniciais do processo de construção. A RA também é usada para documentação de projetos, planejamento, monitoramento e modificação de projetos, recuperação de informações no local em tempo real e medidas de saúde e segurança.

Em Design de interiores criando móveis, pintura de parede e piso são visualizados e simulados usando RA. Fabricação, a RA é aplicada para visualizar projetos de engenharia armazenados em sistemas CAD diretamente nas peças ao realizar operações de corte e montagem. Isso limita a necessidade de usar guias de montagem, modelos e listas de fiação. Orientação de pedestres, Os usuários recebem informações interativas de rota para ajudá-los a chegar aos seus destinos, que podem ser lugares, quartos dentro de edifícios ou até mesmo produtos em lojas. Turismo inteligente, a RA é usada para exibir uma reconstrução virtual de locais antigos e deteriorados e compartilhar informações em tempo real sobre a história ou a cultura (HUSSEIN, 2022).

BIM

O BIM como uma nova tecnologia que começou a ser introduzida no setor da construção nas últimas duas décadas, oferece ferramentas para transformar e melhorar o desempenho e a produtividade do projeto, diminuindo ineficiências e diminuindo a improdutividade, bem como aumentando a colaboração entre diferentes grupos das partes interessadas do projeto. No entanto, uma série de barreiras e obstáculos têm inibido sua implementação mais ampla, apesar dos benefícios potenciais (BURGESS; JONES; MUIR, 2018).

Por meio de uma plataforma digital, o BIM possibilita que os times envolvidos no projeto compartilhem informações, visualizem as interações entre as disciplinas do projeto de forma integrada e tomem decisões que aprimorem o desempenho do projeto (MAHALINGAM; YADAV; VARAPRASAD, 2015).

O banco de dados BIM pode ser usado para criar modelos tridimensionais no projeto de engenharia de construção. Ao mesmo tempo, a colisão natural e a função de correção automática de erros do BIM podem identificar os conflitos entre vários projetos, o que torna o esquema de projeto de construção claro e conveniente; e também permite que profissionais relevantes entendam intuitivamente o design, informações e reduza mudanças de projeto desnecessárias (HENG; HONG-YU, 2020)

Bortolini, Formoso e Viana (2019) escrevem no que diz respeito à logística de construção, um dos empregos mais significativos do BIM consiste em elaborar simulações virtuais 4D da etapa construtiva. Esses modelos 4D podem auxiliar na tomada de decisões, possibilitando a identificação de problemas potenciais durante a fase de construção, os quais podem impactar o desempenho do projeto em termos de custo, tempo e segurança. Recentemente, diversos estudos têm investigado o uso da modelagem 4D para apoiar a gestão da produção, como testar sequências alternativas de atividades, prever desafios logísticos, identificar conflitos espaciais entre tarefas, analisar problemas relacionados à saúde e segurança, monitorar discrepâncias de progresso, aprimorar os layouts do canteiro, planejar a alocação de recursos e examinar o congestionamento do espaço de trabalho.

Além dessas funções, o BIM 4D possibilita ainda a análise dos planos logísticos de construção propostos, considerando o contexto dos layouts 3D do local e os cronogramas de trabalho da obra. Essa abordagem permite simular quando e onde as atividades do canteiro ocorrerão em um ambiente virtual 3D. Através do BIM 4D, o planejamento logístico facilita a identificação precoce de conflitos e ineficiências no processo de construção (BORTOLINI; SHIGAK; FORMOSO, 2015).

2.5 A ADOÇÃO DE SOLUÇÕES DIGITAIS NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL - REVISÃO DA LITERATURA

Conforme destacado pela CBIC (2016), a adoção de inovações é uma opção viável para melhor atender às demandas do setor da construção civil. O uso de inovações apresenta diversas vantagens, como a redução de custos de mão de obra, aumento da produtividade e diminuição dos custos de produção. Contudo, tradicionalmente a indústria da construção tem demonstrado lentidão para responder às inovações tecnológicas (CAO; LI; WANG, 2014). O setor de engenharia e construção não tem se mantido atualizado com as oportunidades tecnológicas capazes de melhorar a produção e combater a estagnação da produtividade da mão de obra (MASKURIY *et al.*, 2019). As novas restrições impostas pela pandemia alteraram o paradigma operacional das construtoras e profissionais do setor, tornando a integração entre as equipes de projeto um aspecto ainda mais crucial das operações.

Jayashree *et al.* (2022) mostraram que o efeito dos recursos de TI (contexto tecnológico), liderança gerencial, trabalho em equipe (contexto organizacional) e suporte externo (contexto ambiental) é significativo na adoção da Indústria 4.0. Os autores concluíram que há a relação entre os fatores de sucesso e a adoção da Indústria 4.0 em direção à sustentabilidade, validando empiricamente o efeito mediador da adoção da Indústria 4.0. Os resultados mostraram que a maioria das relações entre os fatores de sucesso e a sustentabilidade foi mediada pela adoção da Indústria 4.0.

A implementação da indústria 4.0 na indústria da construção deve iniciar uma mudança de maneira coordenada com estratégias, iniciativas da alta administração e colaborações para saber o tipo de mudanças necessárias. Como a indústria da construção falha em adotar uma abordagem orquestrada e comum para a tecnologia digital, impedindo a colaboração efetiva, a estratégia de digitalização de longo prazo é a chave. Um desses aspectos importantes é ter equipes multifuncionais, com treinamentos para permitir o aprimoramento de acordo com os requisitos da indústria 4.0, eliminando os antigos processos de estilos de trabalho independentes (DOLLA; DELHI, 2023). Já Dalenogare *et al.* (2018) discutem que algumas tecnologias emergentes podem não impactar o desempenho do projeto isoladamente, mas o valor real só pode ser aproveitado com a orquestração síncrona das várias ferramentas e tecnologias.

Adhikari *et al.* (2022), discorrem que a pandemia mundial destacou a importância de avaliar a implementação e as competências passadas, atuais e futuras da I4.0 na CC. A Construção 4.0, em sua essência, refere-se ao aumento do uso de tecnologias cibernéticas integradas para aprimorar a execução de projetos de construção. Essas tecnologias têm como

objetivo melhorar as atividades necessárias para a construção, desde a fabricação de produtos até a comunicação entre as equipes e o compartilhamento de informações em todas as etapas de um projeto.

A implantação de ferramentas e os estudos de caso nas principais áreas da Construção 4.0 nas empresas, como manufatura aditiva, uso de sensores, computação móvel, internet das coisas, realidades virtual e aumentada, ferramenta BIM, automação, drones, *Big Data* e computação em nuvem, bem como pesquisas que abordam na prática essas áreas no setor da CC, é abrangente nas bases de pesquisa científicas, sucintamente abrangido abaixo.

Na área de computação em nuvem, Avinte, Nascimento e Nascimento (2019), realizaram um estudo de caso em uma pequena empresa que precisava escolher entre um servidor de e-mail local ou na nuvem. O estudo analisou as características e funcionalidades da computação em nuvem e concluiu que essa opção oferecia uma redução de custos significativa, de quase dois terços, nos dois primeiros anos, considerando que o serviço seria utilizado por 50 funcionários. Quando a empresa aumentasse para 100 funcionários, a redução de gastos seria de um terço. Essa redução de custos é possível porque a computação em nuvem permite que o investimento seja mais objetivo, sendo todo direcionado para o serviço, sem a necessidade de se preocupar com a infraestrutura para manter o serviço funcional.

Em suas conclusões Avinte, Nascimento e Nascimento (2019), demonstram que as vantagens da computação em nuvem são evidentes na redução de custos relacionados à infraestrutura física, como a aquisição de um computador para gerenciar o serviço de e-mails, a segurança da informação, a correção e melhoria do sistema, bem como nos gastos para manter o serviço funcionando.

Na construção civil, algumas construtoras têm alcançado resultados expressivos na redução de desperdício ao unir tecnologias como o *Lens*, que utiliza *Big Data*, o que permite a criação de modelos 3D com base em dados do local. Avanços na gestão também são notáveis, visto que atualmente existem diversos aplicativos e plataformas que utilizam recursos de *Big Data* para acelerar a administração de pessoas, materiais, custos e resíduos. As estatísticas geradas a partir dos dados e os gráficos interativos (apresentados em painéis de controle chamados dashboards) auxiliam os gestores a tomar decisões mais ágeis e precisas. Construtoras e incorporadoras têm empregado ferramentas analíticas de *Big Data* em setores como vendas, marketing e atendimento ao cliente, a fim de compreender melhor seus consumidores e seus padrões de consumo. Isso torna as pesquisas de mercado mais eficientes e eficazes (BRANCO; IGARASHI, 2021).

Sobre o uso de drones, Falorca e Lanzinha, (2018) explanam que no geral, os estudos

com esses veículos aéreos não tripulados têm apresentado bons resultados, e alguns pesquisadores têm apostado na utilização de câmeras acopladas para capturar imagens e vídeos em alta definição, além de sensores ou câmeras infravermelhas (e scanners 3D) e na técnica de fotogrametria digital, empregada para aplicações de mapeamento em larga escala.

Pan *et al.* (2023) dizem que a automação na construção civil está se tornando uma área predominante de pesquisa nos campos da ciência da computação e robótica. A Automação da Construção e o desenvolvimento de sistemas robóticos são vistos como capazes de contribuir fortemente para o desenvolvimento de construções mais seguras, com menor custo, melhor qualidade e duração reduzida.

Wang *et al.* (2022) propuseram a produtividade automatizada do trabalho como método de avaliação em construção industrializada, utilizando modelagem 3D, ergonomia e rastreamento de movimento. O estudo emprega análise de produtividade em nível de movimento baseada em ergonomia 3D para dar suporte ao gerenciamento de riscos e melhorar a produtividade em construções industrializadas off-site. Os autores aplicaram o método proposto a uma tarefa repetitiva de levantamento, focando nos movimentos da mão e do braço, e os resultados relatados demonstram um desempenho confiável para o método desenvolvido.

Chen *et al.* (2023) apresentaram a ideia de aplicar blockchain para desenvolver contratos inteligentes em projetos de construção por meio de um sistema automático de imposição de penalidades de incentivo. O uso das regras de contrato inteligente propostas para um projeto envolvendo pré-fabricação mostra como o contrato inteligente pode impor automaticamente recompensas e penalidades em diversos cenários, resultando em economia de custos.

No uso da ferramenta Building Information Modeling - BIM, Azhar (2011) e German (2012) argumentam que há benefícios quantitativos, com a diminuição de conflitos entre projetos por meio de detecção de conflitos, economia superior a 10% do valor total do projeto, redução de até 7% nos prazos de construção, e diminuição de mais de 40% nos pedidos de mudança de escopo não previstos em contrato. Além disso, mencionam-se ganhos qualitativos, tais como: melhor coordenação e comunicação durante a fase de construção, facilidade na obtenção de quantitativos e emissão de documentos, simplicidade na visualização e realização de simulações do empreendimento, e menores custos gerais do projeto considerando todo o ciclo de vida do ativo, incluindo construção e operação.

A adoção do BIM significa “a implementação bem-sucedida pela qual uma organização, após uma fase de prontidão, cruza o 'Ponto de Adoção' para um dos estágios de capacidade do BIM, ou seja, modelagem, colaboração e integração”. Nos últimos anos, a adoção do BIM aumentou significativamente em todo o mundo e particularmente nos países altamente

desenvolvidos, conforme Ullah, Lill e Witt (2019). Diversos benefícios do BIM também são mostrados por Stojanovska-Georgievska *et al.* (2022) em diferentes fases do ciclo de vida do edifício (pré-construção, durante a execução e pós-construção), conforme resumido no Quadro 1.

Quadro 1. Benefícios do BIM em diferentes fases do ciclo de vida de uma construção

FASES		
Pré-construção	Construção	Pós-construção
Introdução de dados SIG (sistemas de informações geográficas) em modelos de infraestrutura digital	Avaliação subsequente das fases de construção que permitem um planejamento preciso dos recursos	O modelo BIM executado após a construção suporta efetivamente as operações, manutenção, reparo e substituição de aparelhos
Maior precisão dos dados usando dados de nuvem de pontos do local	Planejamento exato do armazenamento e aquisição dos recursos do projeto	Suporta gerenciamento preciso e pontual dos ativos
Melhora a aplicabilidade de medidas de eficiência energética	Pré-fabricação de componentes de construção	Permite agendamento exato de operações de manutenção e fácil acesso às informações
Redução de conflitos de projeto no estágio inicial por representação visual do modelo	BIM permite melhor utilização do local	Pré-visualização do processo de desmontagem para o fim do uso da instalação
Melhorando a precisão da estimativa de custos	Acompanhar e alocar saúde e questões de segurança no canteiro de obras	
Verificação da Construtibilidade e sustentabilidade do projeto	Conclusão do painel de planejamento e financiamento em tempo real	
	Conexão com os princípios da construção enxuta	

Fonte: Adaptado de Stojanovska-Georgievska *et al.* (2022)

Em outro ponto relevante Whitlock *et al.* (2021) reproduzem que o apoio de informações BIM, a gestão de materiais em canteiros de obras pode ser simplificada, reduzindo o risco de furtos e danos e agilizando a logística no local. Através do uso da tecnologia de varredura a laser atual, é possível registrar com precisão edifícios existentes e áreas próximas a um canteiro de obras, convertendo-os em um modelo de informações de construção que fornece um contexto para o projeto e planejamento logístico. O *software* BIM possibilita a elaboração de planos tridimensionais (3D) detalhados para logística de guindastes, áreas de preparação de materiais, acesso e tráfego de veículos, bem como içamento de materiais.

Já sobre realidade aumentada, os estudos de Hou, Wang e Truijens (2015) buscam consolidar a aplicação da RA na construção civil, comparando-a com o uso de manuais impressos como guias de montagem de modelos. Os pesquisadores utilizaram um robô LEGO e também empregaram em um sistema de tubulações. Os resultados de ambas as pesquisas indicaram que a RA reduziu significativamente a carga cognitiva dos operadores, a quantidade de erros cometidos e o tempo de execução. O guia de montagem em RA, no sistema de tubulações, proporcionou uma melhor curva de aprendizado para os usuários. Os autores sugerem que a RA pode ser empregada como um guia para iniciantes em tarefas complexas, onde o tempo de treinamento é limitado e os erros podem ser perigosos ou dispendiosos.

De maneira consistente, os achados de Hou, Wang e Truijens (2015) demonstraram que a utilização da RA foi mais eficiente, promovendo a economia de dois terços dos custos relacionados à correção de erros de montagem.

Cuperschmid, Grachet e Fabrício (2015) estudaram o potencial de uso de RA na construção civil em relação a proposta de emprego e sua forma de utilização, mais especificamente, no sistema de wood-frame. Propuseram um guia interativo para a montagem de painéis estruturados em madeira utilizando Realidade Aumentada. Com esse objetivo, propôs-se a combinação do modelo BIM do painel com as tecnologias de RA, aproveitando a capacidade de interação com o usuário e a mistura entre os ambientes virtual e real oferecida por essa tecnologia.

Cyrino *et al.* (2022) abordam aspectos do desenvolvimento e alguns resultados de uma solução baseada em Realidade Virtual para proporcionar um ambiente mais natural e intuitivo para o controle de sistemas elétricos. Os resultados apresentados demonstraram que os protótipos desenvolvidos exibiram ambientes altamente realistas, oferecendo um sistema de consulta em tempo real dos dados dos equipamentos, bem como da geometria e disposição dos dispositivos da subestação, sem a necessidade de estar fisicamente presente no local. Entre outros benefícios, foi possível destacar o sistema de consulta e apresentação para diferentes perfis de usuário; abordagem alternativa para visualização de dados, em comparação com desenhos CAD 2D; catálogo eletrônico de equipamentos de subestação; simulação de situações para planejamento de tarefas de manutenção e operação.

Os mundos virtuais baseados em tecnologia RV possibilitam que engenheiros e operadores visualizem e interajam de maneira segura com os processos, sem os riscos inerentes aos ambientes reais. Algumas vantagens relevantes, trazidas por (SEBOK; NYSTAD, 2002), incluem:

- a) A capacidade de visualizar, navegar e interagir com estruturas virtuais que se assemelham às suas contrapartes reais;
- b) Habilidade de simular operações e situações perigosas sem causar danos reais aos equipamentos, instalações e pessoal;
- c) Formação melhor e mais robusta, permitindo que os formandos refaçam experimentos fora do escopo de um método e aula tradicional;
- d) Oportunidades equitativas de comunicação para estudantes de diferentes culturas, graças a uma representação comum.

Heiskanen (2017), diz que a internet das coisas é uma inovação capaz de melhorar a produtividade na Construção Civil, onde as informações sobre produtos e materiais muitas vezes não fluem de maneira otimizada. Asgari e Rahimian (2017) afirmam que a IoT facilita o processo de coordenação de projetos complexos de construção, utilizando sensores e tecnologias sem fio para conectar equipamentos a sistemas centrais. Isso proporciona maior controle (JIA *et al.*, 2019) e segurança nas atividades executadas, além de economia em tempo e custo (ASGARI; RAHIMIAN, 2017). Conforme os dados do estudo realizado por Borges *et al.* (2020), as aplicações mais comuns da IoT no setor da Construção Civil ocorrem principalmente em relação ao monitoramento de recursos humanos, equipamentos, materiais, execução de atividades, ativos e ambiente. Observa-se que todos os tipos de monitoramento têm impacto direto ou indireto na produtividade.

No "monitoramento de recursos humanos", é possível avaliar o rendimento dos membros da equipe, com o objetivo de verificar se o trabalho está sendo realizado de maneira eficaz e criar estratégias para corrigir possíveis ineficiências. Teizer e Cheng (2015) apontam que as ferramentas de IoT podem ser empregadas para comparar rotas, que por vezes revelam obstáculos e zonas potencialmente perigosas no local de obra, determinando o itinerário mais adequado para os trabalhadores no local, tanto em termos de segurança quanto de produtividade.

No "monitoramento de equipamentos", exemplifica-se o controle do içamento de objetos por guindaste (ZHOU *et al.*, 2019), o rastreamento do funcionamento de uma escavadeira (ŠTEFANIČ; STANKOVSKI, 2019) ou o acompanhamento do uso de vibradores de concreto (GONG *et al.*, 2015). O objetivo desse monitoramento é promover melhorias na eficiência das tarefas realizadas por tais máquinas.

No que concerne ao "monitoramento de materiais", observa-se, por exemplo, a aplicação de IoT no rastreamento da umidade do concreto, o que oferece um controle mais preciso do

processo de endurecimento. Com um controle mais rigoroso, evita-se o desperdício de materiais que não atingiram a resistência adequada, além da necessidade de refazer o trabalho, caso o concreto não atinja a umidade apropriada (ZHOU *et al.*, 2016).

Em termos do " monitoramento da realização de tarefas", pode-se citar como exemplo aplicações para controle do deslocamento de terra (LOUIS; DUNSTON, 2018) e do trânsito de maquinário pesado (ROSSI *et al.*, 2019).

No que diz respeito ao " monitoramento do ambiente", seu objetivo é regular o ambiente onde a obra está sendo executada, para verificar se as condições ambientais são favoráveis para a execução das tarefas (TEIZER *et al.*, 2017).

Por último, compreendendo a última classe, temos o " monitoramento de ativos", especialmente instalações, que visa entender se um ativo específico está operando de maneira eficiente (BARACHO; CUNHA; PEREIRA JUNIOR, 2018).

A IoT possibilita que gestores de instalações automatizem processos de operação e manutenção predial, gestão de desempenho dos edifícios, gerenciamento de energia e desenvolvimento de estratégias para resposta a desastres e emergências (PISHDAD-BOZORGI *et al.*, 2018). Algumas aplicações incluem:

- Operação e Manutenção Predial: Dispositivos de IoT permitem o desenvolvimento de plataformas para auxiliar na operação e manutenção predial, fornecendo acesso a dados em tempo real, acompanhamento de manutenção, criação e atualização de uma plataforma digital do edifício, gerenciamento de espaços (TANG, *et al.*, 2019) e alertas de segurança estrutural através de dispositivos wireless, algoritmos e *softwares* (ABRUZZESE *et al.*, 2020);

- Gestão de Desempenho do Edifício: A IoT possibilita melhorias no gerenciamento de dados de desempenho de construção em tempo real, no monitoramento e avaliação do desempenho, bem como na qualidade do ambiente interno e no conforto dos usuários (TANG *et al.*, 2019);

- Gerenciamento de Energia: A eficiência energética em edifícios é objeto de diversas pesquisas acadêmicas, devido à sua representatividade no consumo total de energia mundial (JIA *et al.*, 2019). Sistemas de gerenciamento de energia predial são desenvolvidos para controlar, monitorar e otimizar o uso de energia, com base em dados coletados por sensores e no monitoramento da ocupação dos ambientes (TERROSO-SAENZ *et al.*, 2019; HARAS; SKOTNICKI, 2018);

- Resposta a Emergências e Desastres: As tecnologias e ferramentas da IoT proporcionam soluções efetivas para resposta a emergências e desastres em edificações, auxiliando na localização de vítimas, no cálculo de rotas de evacuação e na resposta automática a incidentes

(TANG *et al.*, 2019). Além disso, ajudam a fornecer parâmetros relacionados à integridade estrutural do edifício por meio de um inventário (OLIVITO *et al.*, 2021).

Sobre a computação móvel, ela permite “conectividade em qualquer lugar, a qualquer hora”. Essa tecnologia promissora permite que a conectividade seja alcançada sem fios onde e quando os usuários desejarem (EDIRISINGHE, 2019). Os aplicativos móveis possuem a capacidade de atrair pessoas rapidamente, juntamente com a facilidade de uso (ZAIDAN *et al.*, 2018).

Andrade, Assis e Brochart (2015) destacam a importância de utilizar dispositivos móveis, como smartphones e tablets, para melhorar o fluxo de informações no canteiro de obras. Esses dispositivos podem ser relativamente baratos em comparação com outros investimentos tecnológicos e oferecem uma série de benefícios no gerenciamento de projetos de construção civil. Em seus estudos Abdullah e Al-Alwan (2019) apresentaram sistemas inteligentes para selecionar materiais de construção e determinar qualidades de materiais a serem utilizados no projeto e construção de edifícios. O sistema de seleção inteligente resultante permite que os usuários selecionem o material mais adequado de acordo com o clima, o ambiente e o sistema estrutural definidos usados na respectiva arquitetura de edifício.

Wang (2007) desenvolveu um sistema para processos de controle de qualidade na construção por meio da integração da tecnologia de identificação por radiofrequência (RFID), dispositivos móveis *Personal Digital Assistant* (PDAs) e portais da web. Esse sistema pode permitir que os usuários colem e analisem dados de qualidade de construção em tempo real usando dispositivos móveis, e as informações coletadas podem ser facilmente compartilhadas e gerenciadas através de um portal da web. A tecnologia RFID pode ajudar a identificar produtos e materiais de construção específicos, enquanto os PDAs permitem que os usuários registrem informações sobre o trabalho concluído e enviem esses dados para um sistema centralizado. Em conjunto, essas tecnologias podem ajudar a melhorar a eficiência e a precisão do controle de qualidade na construção.

Kim *et al.* (2008) propuseram uma plataforma de computação móvel para supervisão de construção e controle de qualidade. A ideia por trás dessa proposta é melhorar a eficiência, a precisão e a comunicação entre as equipes de construção por meio do uso de dispositivos móveis e tecnologias sem fio. A plataforma sugerida tem várias funcionalidades e características, incluindo: Supervisão de construção, Controle de qualidade, Comunicação em tempo real, Integração de dados, Geolocalização e Acesso remoto. O estudo de Kim *et al.* (2008) mostrou que a implementação de uma plataforma de computação móvel para supervisão de construção e controle de qualidade pode melhorar significativamente a eficiência e a

qualidade da construção.

Zurita *et al.* (2008) desenvolveram um sistema colaborativo de suporte ao design face a face em uma plataforma móvel. O objetivo desse sistema era facilitar a comunicação e a colaboração entre os membros de uma equipe de design, especialmente durante as reuniões presenciais, utilizando dispositivos móveis e tecnologias sem fio. O sistema proposto permite o compartilhamento de informações e recursos em tempo real, como desenhos, esboços, especificações e documentos, durante as reuniões. Isso facilita a comunicação e a tomada de decisões colaborativas entre os membros da equipe. Além disso, o sistema foi projetado para ser utilizado em reuniões presenciais, permitindo uma interação face a face e melhorando a eficiência na discussão de informações e ideias.

A plataforma móvel proporciona portabilidade e acessibilidade ao sistema, permitindo que os membros da equipe o utilizem em diferentes locais e contextos. Essa característica torna o sistema uma solução flexível e adaptável às necessidades das equipes de construção civil, melhorando a eficiência e a produtividade no gerenciamento de projetos.

Zhang *et al.* (2017) descrevem o desenvolvimento de uma estrutura de inspeção de segurança para canteiros de obras usando tecnologia de computação móvel. Eles observam que os métodos tradicionais de inspeção de segurança podem ser demorados, baseados em papel e propensos a erros. A tecnologia de computação móvel, no entanto, tem o potencial de melhorar a eficiência e a precisão da inspeção de segurança, permitindo que os inspetores realizem inspeções em dispositivos móveis e enviem relatórios em tempo real.

A pesquisa de Zhang *et al.* (2017) descreve ainda o desenvolvimento de uma estrutura de inspeção de segurança que incorpora um aplicativo móvel e um sistema de gerenciamento baseado na web. O aplicativo móvel permite que os inspetores de segurança realizem inspeções em canteiros de obras usando dispositivos móveis, como smartphones e tablets. O aplicativo inclui uma lista de verificação de itens de segurança a serem inspecionados, e os inspetores podem tirar fotos e adicionar comentários a cada item. O aplicativo também tem a capacidade de capturar o local e o horário de cada inspeção. O sistema de gerenciamento baseado na web fornece uma plataforma centralizada para gerenciar inspeções de segurança. O sistema permite que os supervisores analisem relatórios de inspeção em tempo real, rastreiem problemas de segurança e gerem relatórios. O sistema também inclui um painel que fornece uma visão geral das atividades de inspeção de segurança e identifica áreas de melhoria.

No que trata de sensores, segundo Edirisinghe (2019), o uso de tecnologias de sensores inteligentes no contexto da construção civil pode ser aplicado para melhorar a eficiência, segurança e sustentabilidade dos canteiros de obras no futuro. A evolução dos sensores

inteligentes e como eles podem ser integrados aos canteiros de obras para criar uma "pele digital". Essa pele digital coleta dados em tempo real sobre as condições no local, permitindo que os engenheiros e gerentes de projeto monitorem e otimizem os processos de construção. Além disso, os sensores inteligentes podem ser usados para monitorar a integridade das estruturas, identificar problemas e garantir a segurança dos trabalhadores. O autor também aborda as implicações das tecnologias de sensores inteligentes para a construção sustentável, destacando como elas podem ajudar a reduzir o consumo de energia e a emissão de gases de efeito estufa.

Lee *et al.* (2017) pesquisaram o uso de sensores vestíveis para monitorar o status fisiológico e as atividades dos trabalhadores da construção civil, tanto durante o horário de trabalho quanto fora dele. Os autores realizam um estudo para avaliar a eficácia dos sensores vestíveis em coletar dados úteis sobre o desempenho e a saúde dos trabalhadores. Eles exploram as vantagens e limitações dessas tecnologias, analisando o uso de dispositivos como acelerômetros, monitores de frequência cardíaca e outros sensores fisiológicos para medir parâmetros como a atividade física, a qualidade do sono e o estresse.

Lee *et al.* (2017) sugeriram ainda que o monitoramento contínuo e em tempo real desses dados pode fornecer informações valiosas para os gerentes de projeto e engenheiros de segurança, ajudando-os a identificar problemas de saúde e segurança, prevenir acidentes e melhorar o bem-estar geral dos trabalhadores no canteiro de obras. Além disso, discutiram como os dados coletados pelos sensores vestíveis podem ser usados para desenvolver estratégias de gerenciamento de recursos humanos mais eficazes e personalizadas, levando em consideração as necessidades individuais de cada trabalhador.

Quqa *et al.* (2021) investigaram o uso de redes de sensores esparsas para identificar automaticamente características sensíveis a danos em infraestruturas civis. Eles propõem uma abordagem baseada em aprendizado de máquina para processar dados coletados por redes de sensores esparsas instaladas em infraestruturas civis, como pontes e edifícios. O objetivo é identificar automaticamente áreas densas de características sensíveis a danos, que podem indicar a necessidade de manutenção ou reparo. A abordagem de Quqa *et al.* (2021) apresentada no artigo combina técnicas de aprendizado profundo e modelagem de grafos para extrair informações relevantes dos dados de sensores e identificar padrões que possam ser associados a danos na infraestrutura. Isso permite uma detecção mais precisa e eficiente de problemas em comparação com métodos convencionais de inspeção visual e monitoramento manual.

Park *et al.* (2017) desenvolveram um arcabouço integrado que combina BIM, computação em nuvem e sensores *Bluetooth Low Energy* (BLE) para monitorar a segurança dos

trabalhadores em tempo real no canteiro de obras. O objetivo é melhorar a segurança e reduzir o risco de acidentes por meio da identificação automática de situações potencialmente perigosas e do fornecimento de alertas em tempo real para os trabalhadores e gerentes de projeto. O BIM é usado para criar modelos 3D detalhados das obras em andamento, enquanto os sensores BLE são instalados nos trabalhadores e em equipamentos específicos do canteiro de obras para rastrear sua localização e movimentação em tempo real.

Yao *et al.* (2021) analisaram os avanços recentes no campo dos sensores de fibra óptica e discutiram como eles podem ser aplicados para medir as forças nos cabos que sustentam pontes suspensas, pontes estaiadas e outras estruturas de engenharia. A medição precisa das forças nos cabos é crucial para garantir a segurança e a estabilidade dessas estruturas ao longo do tempo. Ademais também exploram as possibilidades de integração desses sensores de fibra óptica em sistemas de monitoramento automatizado de estruturas de engenharia, que podem fornecer dados em tempo real sobre a saúde e a integridade das estruturas e permitir a detecção precoce de problemas potenciais.

Por fim a impressão 3D de concreto (3DCP) é uma tecnologia emergente para construir elementos de construção sem cofragem, permitindo assim a construção de estruturas de construção não retilíneas e arquitetonicamente complexas. Utiliza principalmente a tecnologia de extrusão, onde o concreto fresco é extrudado em volumes controlados para depositar camadas de maneira sequencial (camada por camada). Uma impressora 3D de concreto é usada para implementar a tecnologia de extrusão. A impressora 3D de concreto consiste em um manipulador na forma de um braço robótico ou sistema de pórtico que transporta a cabeça de impressão para depositar o concreto em um caminho pré-definido. Um processo típico de 3DCP consiste em quatro etapas principais: mistura, bombeamento, extrusão e construção (MUTHUKRISHNAN *et al.*, 2021).

Wangler *et al.* (2016) destacam os desafios enfrentados na implementação do concreto digital, como a necessidade de desenvolver materiais de concreto adequados para impressão 3D e garantir a resistência e durabilidade das estruturas impressas. Além disso, os autores mencionam questões relacionadas ao custo, à aceitação da indústria e aos regulamentos e normas de construção, que podem representar barreiras à adoção generalizada do concreto digital.

Neste contexto da adoção das diversas áreas da Indústria 4.0 no setor da CC, atualmente vários autores tem pesquisado copiosamente sobre esses temas aqui abordados, seja revisando a literatura, seja realizando estudos de caso, seja desenvolvendo produto. O Quadro 2, construído a partir da revisão da literatura apresentada neste trabalho, relaciona diversos estudos

recentes que abordam e explanam a temática estudada, desenvolvidos no horizonte de 2020 a 2023, pesquisados em bases de buscas científicas como Web of Science, SCOPUS e SCIELO, por exemplo, no intervalo de 15 de maio a 15 de junho de 2023, elencando em colunas os autores/pesquisas desenvolvidas, as áreas de estudo, abordagem e o tipo de trabalho.

Quadro 2. Estudos recentes que abordam e explanam a temática estudada (construção 4.0)

Pesquisa / Estudo Desenvolvido Autor(es)(ano)	Área de Estudo	Abordagem	Tipo de Artigo
Nwaogu <i>et al.</i> (2023)	Drones	Aplicação de drones na indústria da construção	Revisão da literatura
Takva e Ilerisoy (2023)		Tendências da tecnologia dos drones na construção civil	Revisão da literatura
Yi e Sutrisna (2021)		Uso de drones para monitoramento de canteiros de obras	Estudo de caso
Jacob-Loyola <i>et al.</i> (2021)		VANTs para Monitoramento do Progresso Físico da Construção	Estudo de caso
Ballesteros e Lordsleem Junior (2021)		VANT para inspeção de manifestações patológicas em fachadas	Revisão da literatura/ Estudo de caso
Ramly, Mohamad e Noor (2023)	BIM	BIM como tecnologia disruptiva	Revisão da literatura
Wang e Chen (2023)		Integração da modelagem de informações e gerenciamento do ciclo de vida de projetos de construção	Revisão da literatura
Caldart e Scheer (2022)		Planejamento de projeto de canteiro de obras utilizando BIM 4D	Revisão da literatura
Avendaño <i>et al.</i> (2022)		Utilização do BIM em projetos de construção em aço	Revisão da literatura
Tedesco Jovanovichs e Chahdan Mounzer (2022)		Contribuição do BIM na compatibilização de projetos	Revisão da literatura
Calitz e Wium (2022)		Implementação do BIM na construção sul-africana	Revisão da literatura
Emara (2022)		Uso do BIM na fase de implementação do paisagismo	Revisão da literatura
Seixas <i>et al.</i> (2022)		BIM para gestão da segurança do trabalho	Estudo de caso
Feng <i>et al.</i> (2023)		Robótica	Inspeção robótica de utilidades subterrâneas para vistoria de construção
Xiao, Chen e Yin (2022)	Avanços da robótica na construção civil		Revisão da literatura
Zhang <i>et al.</i> (2023)	Colaboração humano-robô para construção no local		Estudo de caso

Continuação do Quadro 2

Pesquisa / Estudo Desenvolvido Autor(es)(ano)	Área de Estudo	Abordagem	Tipo de Artigo
Gharbia <i>et al.</i> (2020)	Robótica	Tecnologias robóticas para construção de edifícios no local	Revisão da literatura
Kim; Lee e Kamat (2020)	Automação e robótica	Prevenção de acidentes por contato em construção co-robótica	Estudo de caso
Devisree <i>et al.</i> (2022)	Computação móvel	Aplicativo móvel baseado em nuvem para contratar trabalhadores	Revisão da literatura/ Desenvolvimento de produto
Huang <i>et al.</i> (2022)	Computação móvel/ Internet das Coisas	Localização e rastreamento precisos de pedestres em ambientes internos	Revisão da literatura/ Estudo de caso
Marques <i>et al.</i> (2020)		Medição e mapeamento da qualidade do ar usando sistemas ciberfísicos e tecnologias de computação móvel	Revisão da literatura/ Estudo de caso
Chen <i>et al.</i> (2023)	BIM/ Internet das Coisas	BIM e a Integração da Internet das Coisas para a Construção Sustentável	Revisão da literatura
Moudgil <i>et al.</i> (2023)	Internet das Coisas	Integração da Internet das Coisas na construção de infraestrutura energética	Estudo/Revisão da literatura
Tan <i>et al.</i> (2023)		Programação e Controle da Produção em um Ambiente de Internet das Coisas para a Indústria 4.0	Revisão da literatura
Mishra, Lourenço e Ramana (2022)		Monitoramento da integridade estrutural de estruturas de engenharia civil utilizando a internet das coisas	Revisão da literatura
Elghaish <i>et al.</i> (2021)	Blockchain/ Internet das Coisas	Blockchain e Internet das Coisas para a indústria da construção	Revisão da literatura
Ali <i>et al.</i> (2022)	Computação na nuvem	Sistema de controle de processos cibernéticos baseado em reconhecimento de padrões e computação em nuvem	Desenvolvimento de produto
Azadi <i>et al.</i> (2021)		Sustentabilidade de provedores de serviços de computação em nuvem para a Indústria 4.0	Revisão da literatura
Bello <i>et al.</i> (2021)		Computação em nuvem na indústria da construção	Revisão da literatura
Oke <i>et al.</i> (2021)		Avaliação dos fatores de sucesso da computação em nuvem para a indústria da construção sustentável	Estudo de caso
Ali <i>et al.</i> (2020)		Sistema de diagnóstico de falhas não supervisionado baseado em computação em nuvem no contexto da I4.0	Revisão da literatura

Continuação do Quadro 2

Pesquisa / Estudo Desenvolvido Autor(es)(ano)	Área de Estudo	Abordagem	Tipo de Artigo
Rao <i>et al.</i> (2022)	Sensores	Monitoramento em tempo real de canteiros de obras: sensores, métodos e aplicações	Revisão da literatura
Quqa <i>et al.</i> (2021)		Identificação automática de características sensíveis a danos densos em infraestrutura usando redes de sensores esparsas	Revisão da literatura/ Estudo de caso
Talmaki e Kamat (2022)	Sensores/ Gêmeos digital	Sensores para Monitoramento em Tempo Real de Equipamentos de Construção Articulada em Gêmeos Digitais	Revisão da literatura/ Estudo de caso
Yao <i>et al.</i> (2021)	Sensores/ Sensor de fibra óptica	Monitoramento automatizado de estruturas de engenharia usando sensores de fibra óptica	Revisão da literatura
Gardner (2023)	Manufatura Aditiva	Manufatura aditiva de metais em engenharia estrutural	Revisão da literatura
Coelho <i>et al.</i> (2021)		Uso de Robôs Cooperativos na Manufatura Aditiva	Revisão da literatura
Pajonk <i>et al.</i> (2022)		Manufatura aditiva multimaterial em arquitetura e construção	Revisão da literatura
Raza e Zhong (2022)		Manufatura aditiva usando geopolímeros na indústria da construção	Revisão da literatura
Li <i>et al.</i> (2023)	Realidade Aumentada	Visualização móvel baseada em realidade aumentada para suporte de operação e manutenção de redes de tubulação subterrâneas	Estudo de caso
Muthalif, Shojaei e Khoshelham (2022)		Métodos de visualização de realidade aumentada para utilitários de subsuperfície	Revisão da literatura
Arowoia <i>et al.</i> (2023)		Realidade aumentada para a revolução da construção	Revisão da literatura
Marino <i>et al.</i> (2021)		Ferramenta de inspeção de Realidade Aumentada para apoiar os trabalhadores em ambientes da Indústria 4.0	Estudo de caso
Cárdenas-Robledo <i>et al.</i> (2022)	Realidade Virtual/Aumentada	Aplicações da realidade estendida na indústria 4.0	Revisão da literatura
Cyrino <i>et al.</i> (2022)	Realidade Virtual	Ambiente intuitivo baseado em RV para monitoramento e controle de subestações de energia elétrica	Revisão da literatura/ Estudo de caso

Fonte: Autor

O quadro 2 copilou as áreas da I4.0 relevantes abordadas nesta revisão da literatura, pontuando outras pesquisas desenvolvidas, reafirmando a vasta literatura que aborda a temática da Construção 4.0. Os estudos arrolados no quadro 2, mostra apenas uma pequena parcela de um cenário global atual que trata este trabalho.

2.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Esse capítulo apresentou conceitos fundamentais relevantes e uma revisão literária sobre a quarta revolução industrial, a qual criou uma mudança de paradigma na indústria da construção em direção à transformação digital. Tal-qualmente a literatura revela que a transformação digital é incontornável na era da Indústria 4.0, sendo caracterizada dentro de uma empresa como a transição para o uso de *Big Data*, análises, computação em nuvem, dispositivos móveis e plataformas digitais.

A Construção Civil representa um dos pilares produtivos mais significativos da economia mundial, é um setor intensivo em capital e de alta complexidade econômica, devido ao alto número de áreas envolvidas em suas atividades, tornando-se crucial o uso de ferramentas para obtenção de melhorias em sua gestão, visto que este setor é repleto de problemas complexos que possui uma lacuna considerável em habilidades digitais. Nesse sentido, como foi realçado, a Construção 4.0 adapta-se à estrutura da I4.0, incorporando sistemas ciberfísicos e tecnologias digitais avançadas em sua prática, como a computação móvel, Impressão 3D, sensores, computação em nuvem e IoT, uso de drones, realidades aumentada e virtual, BIM, entre outros. Portanto, é necessário que as empresas desenvolvam planos estratégicos e programas de treinamento para construir potenciais capazes de utilizar essas tecnologias e soluções digitais.

Com o referencial teórico e a revisão da literatura concluídos, foi possível perceber a dificuldade de encontrar uma metodologia de implementação das áreas da I4.0 na construção civil. Dessa forma, buscando um preenchimento dessa lacuna foi proposto uma metodologia de implantação de ferramentas e soluções digitais da construção 4.0, que será discutido nos próximos capítulos.

3 PROPOSTA DE METODOLOGIA DE IMPLANTAÇÃO DE FERRAMENTAS E SOLUÇÕES DIGITAIS DA CONSTRUÇÃO 4.0

Como abordado anteriormente, há lacunas na literatura tratando-se de planos e etapas de implementação de soluções digitais em empresas de pequeno porte em países em desenvolvimento. Neste sentido, a pesquisa de Souza e Alencar (2023), aborda o tema relacionando os problemas que uma construtora no estado de Pernambuco apresenta e propõe um sequenciamento de cinco etapas para implementação de soluções digitais na empresa, sendo elas:

- 1) Aquisição de equipamentos e softwares;
- 2) Capacitação e treinamentos internos e externos nas áreas de abordadas;
- 3) Implementação e uso da tecnologia;
- 4) Comunicação e engajamento;
- 5) Avaliação e melhoria contínua

Consoante a isso, El Jazzar *et al.* (2021) propuseram em seu estudo: “Integrando tecnologias da construção 4.0: um plano de implementação de quatro camadas”, além de uma extensa revisão da literatura para obter *insights* sobre a Construção 4.0 e enquadrar o plano de implementação de quatro camadas, realizam um estudo de caso propondo um plano de implementação. A primeira camada consiste no entendimento das tecnologias associadas à Construção 4.0. A segunda camada apresenta um roteiro que descreve a integração de cada uma das nove tecnologias, selecionadas pelos autores, ao longo do ciclo de vida do projeto de construção. A terceira camada oferece *insights* sobre como as nove tecnologias podem ser conectadas e integradas entre si. A quarta camada engloba um conjunto de requisitos que as construtoras devem considerar.

El Jazzar *et al.* (2021) não trazem um roteiro objetivo de um plano de implementação dessas tecnologias da I4.0 para a construtora estudada em sua pesquisa. A abordagem no estudo de caso que os autores explanam, destoam da realidade aqui apresentada. A implantação de tecnologias de ponta como a realidade aumentada combinada ao BIM, programação em computação móvel, banco de dados e outras, mostram um grau superior de maturidade na adoção dessas tecnologias, haja vista sua aplicação em um país europeu desenvolvido. Também não foram apresentadas etapas precedentes a adoção dessas tecnologias, como o treinamento das equipes envolvidas, por exemplo.

O quadro 3 resume as 4 (quatro) etapas propostas por El Jazzar *et al.* (2021) em seu plano de implementação.

Quadro 3. Etapas de implementação de tecnologias da construção 4.0 segundo El Jazzar *et al.* (2021)

ETAPAS SEGUNDO EL JAZZAR <i>et al.</i> (2021).
1. Identificação / entendimento das tecnologias associadas à Construção 4.0
2. Roteiro que descreve a integração de cada uma das tecnologias / soluções digitais
3. Conexão / conhecimento das tecnologias
4. Requisitos e implementação

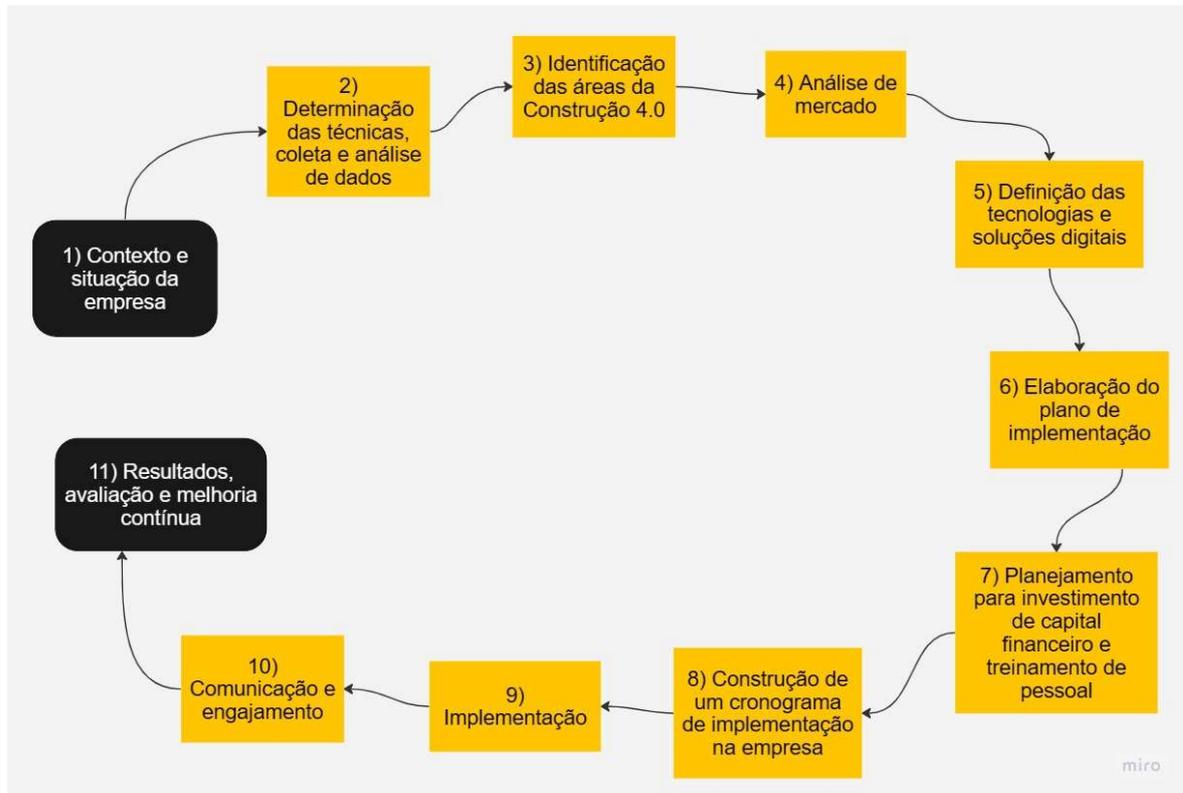
Fonte: Adaptado de El Jazzar *et al.* (2021)

3.1 DO PRODUTO GERADO

As empresas de pequeno porte têm dificuldade competitiva, pela falta de uma ferramenta que auxilie na introdução e na implementação dessas ferramentas e soluções digitais em suas organizações. Nesse contexto foi criada uma proposta de sequenciamento de etapas para implementação dessas soluções digitais, aplicáveis em empresas de pequeno porte no setor da construção civil. As etapas de implementação foram criadas a partir de diretrizes iniciais trazidas por Jazzar *et al.* (2021), o que possibilitou gerar uma ferramenta com uma metodologia melhorada que oferece direcionamentos a essa parcela do mercado e pode mudar a concepção de como as organizações de pequeno porte lidam com o tema e iniciem suas mudanças e adoções de soluções digitais.

A figura 2, mostra um fluxograma com a proposta de uma metodologia de implantação de ferramentas e soluções digitais no contexto da construção 4.0, factíveis de implantação em empresas de pequeno porte da indústria da construção civil, como produto gerado neste trabalho. Foram construídas e elencadas, as 11 etapas (1.Contexto e situação da empresa, 2.Determinação das técnicas, coleta e análise de dados, 3.Identificação das áreas da Construção 4.0, 4.Análise de mercado, 5.Definição das tecnologias e soluções digitais, 6.Elaboração do plano de implementação, 7.Planejamento para investimento de capital financeiro e treinamento de pessoal, 8.Construção de um cronograma de implementação na empresa, 9.Implementação, 10.Comunicação e engajamento e 11.Resultados, avaliação e melhoria contínua.) que servirão de referência para as empresas construírem seu plano e cronograma de implementação.

Figura 2. Fluxograma da proposta de metodologia de implantação de ferramentas e soluções digitais



Fonte: Autor

A adoção da Indústria 4.0 em uma construtora de pequeno porte exige planejamento e organização. As 11 etapas propostas fornecem um guia completo para o processo, desde a compreensão da situação atual da empresa até a avaliação dos resultados e a busca por melhorias contínuas. Seguindo essas etapas com prudência, a empresa estará bem posicionada para colher os benefícios da transformação digital e alcançar um futuro mais competitivo e eficiente.

Cada etapa oferece benefícios específicos que contribuem para o sucesso da iniciativa, como a seleção das tecnologias mais adequadas, a minimização de riscos e imprevistos, a maximização do retorno sobre o investimento e a criação de uma cultura de aprendizado e adaptação.

As 11 etapas de implementação propostas são elucidadas a seguir, aduzindo os objetivos individuais de cada uma delas, apresentando instrumentos, formulários e roteiros que darão suporte para que outras empresas de CC, com características similares, possam implantá-las.

Etapa 01: Contexto e situação da empresa

Nesta fase inicial, é importante compreender a situação atual da empresa, incluindo

informações de sua maturidade digital, as estratégias existentes, as capacidades de TI e os recursos humanos disponíveis. Também é relevante identificar os possíveis pontos fortes ou fracos da empresa, bem como os possíveis desafios a serem superados.

Nessa etapa, um questionário para coleta de dados pode ser aplicado aos funcionários da empresa para coletar as diversas informações, bem como para permitir que os respondentes expressem suas opiniões e ideias. Abaixo é mostrado um exemplo de questionário para contextualização e situação da empresa a ser seguido nesta etapa, conforme retrata o quadro 4, que pode ser adaptado às necessidades específicas de cada empresa.

Quadro 4. Proposta de questionário

<p>Etapa 01: Contexto e situação da empresa</p> <p style="text-align: center;">Questionário para coleta de dados da etapa 1</p> <p>Objetivo: Coletar informações sobre o nível de maturidade digital, as estratégias existentes, as capacidades de TI e os recursos humanos disponíveis da empresa</p> <p>Público-alvo: Funcionários da empresa, colaboradores, gestores, diretores.</p> <p>Forma de aplicação: O questionário pode ser aplicado online, por meio de um formulário ou plataforma de pesquisa, ou por meio de entrevistas presenciais.</p> <p>Perguntas propostas:</p> <ul style="list-style-type: none"> * Qual é o seu nível de conhecimento sobre tecnologias digitais? * Quais são as principais tecnologias digitais utilizadas na empresa? * Qual é a cultura da empresa em relação à mudança e inovação? * Como a empresa utiliza essas tecnologias? * Quais são as principais estratégias da sua empresa para o futuro? * Na sua opinião como as tecnologias digitais podem contribuir para o alcance dessas estratégias? * Quais são as principais capacidades de TI da sua empresa? * Quais são as principais deficiências de TI da sua empresa? * Quais são os desafios enfrentados pela empresa na adoção de tecnologias digitais? * Quais são as oportunidades que a empresa vê na adoção de tecnologias digitais? * Quais são os recursos humanos disponíveis para a adoção de tecnologias digitais? * Quais são as principais habilidades e competências dos funcionários da sua empresa? * Nesse contexto, quais são as principais necessidades de treinamento dos funcionários da sua empresa?

Fonte: Autor

Etapa 02: Determinação das técnicas, coleta e análise de dados

Identificar as técnicas de coleta de dados necessárias para reunir informações suficientes sobre a empresa e o ambiente de mercado. Isso pode incluir, pesquisas, entrevistas com funcionários, questionários, observações no local de trabalho, etc. A análise de dados inclui examinar os dados coletados para identificar padrões, tendências e insights que informarão as próximas etapas do processo.

O quadro 5 abaixo demonstra um roteiro que pode ser seguido para execução da etapa 2 do projeto de implantação na empresa.

Quadro5. Roteiro para determinação das técnicas, coleta e análise de dados

Etapa 02: Determinação das técnicas, coleta e análise de dados
<p>Objetivo: Definir as técnicas, coletar e analisar os dados necessários para compreender a situação atual da empresa e o ambiente de mercado.</p>
<p>Público-alvo: Equipe de implementação do projeto de adoção de tecnologias e soluções digitais da indústria 4.0</p>
<p>Roteiro Etapa 2:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. <u>Definição das técnicas de coleta de dados:</u> Nesta etapa, a equipe de implementação deve definir as técnicas que serão utilizadas para coletar os dados necessários. <ul style="list-style-type: none"> * Pesquisa de mercado: A pesquisa de mercado pode ser usada para coletar informações sobre as tendências emergentes, as melhores práticas da construção civil, as ações dos concorrentes e a demanda do cliente. * Entrevistas com funcionários: As entrevistas com funcionários podem ser usadas para coletar informações sobre o nível de maturidade digital da empresa, identificando quais os níveis de familiaridade com as tecnologias da indústria 4.0 dos envolvidos. * Observações no local de trabalho * Análise de dados secundários: A análise de dados secundários pode ser usada para coletar informações que já estão disponíveis, como dados financeiros, dados de produção, análises de projetos, outros. 2. <u>Coleta de dados:</u> Nesta etapa, a equipe de implementação deve coletar os dados utilizando as técnicas definidas na etapa anterior. É importante que a coleta de dados seja realizada de forma sistemática e organizada para garantir a qualidade dos dados coletados. 3. <u>Análise de dados:</u> Nesta etapa, a equipe de implementação deve analisar os dados coletados para identificar padrões, tendências e insights que informarão as próximas etapas do processo.

Fonte: Autor

A elaboração de uma planilha pode ajudar na análise dos dados, conforme quadro 6 abaixo apresenta exemplo. A planilha é um modelo que pode ser usado para organizar e analisar os dados coletados nessa etapa 2. Os dados coletados são inseridos nas colunas apropriadas e as análises realizadas nas linhas apropriadas. A coluna 1 identifica o tipo de dado coletado, a coluna 2 a fonte do dado, a coluna 3 fornece uma descrição do dado coletado e por fim a coluna 4 traz fornece uma análise do dado coletado.

Quadro 6. Proposta de análise de dados

Etapa 02: Análise de dados			
Tipo de dado	Fonte de dados	Descrição do dado	Análise
Entrevista			
Questionário			
Observação			
Análise de dados secundários			
...			

Fonte: Autor

Etapa 03: Identificação das áreas da Construção 4.0

Nesta etapa, a empresa examina suas operações e identifica quais áreas podem se beneficiar mais da adoção de tecnologias da construção 4.0. Isto pode incluir áreas como gestão de projetos, arquitetura e engenharia, operações de campo, gerenciamento de materiais, manutenção e suporte, entre outras.

As informações e dados levantados nas etapas anteriores ajudam a levantar as possibilidades de tecnologias e soluções digitais da construção 4.0. Uma planilha levantando as áreas identificadas para aplicação de tecnologias da construção 4.0 é exemplificada no quadro 7 adiante. Este instrumento é usado para facilitar e orientar a empresa na identificação das áreas que podem se beneficiar mais da adoção dessas tecnologias e projetar seu potencial.

O quadro 7, com as áreas identificadas para aplicação de tecnologias da construção 4.0, mostra em suas colunas as áreas da empresa, tecnologias potenciais, recursos necessários e considerações adicionais.

Quadro 7. Áreas identificadas para aplicação de tecnologias da construção 4.0

Etapa 03: 1. Áreas Identificadas para Aplicação de Tecnologias da Construção 4.0			
Área da Empresa	Tecnologias Potenciais por Área	Recursos Necessários	Considerações Adicionais
Gestão de projetos			
Arquitetura			
Operações de campo			
Gerenciamento de materiais / Suprimentos			
Manutenção			
Financeiro / Contabilidade			

Fonte: Autor

Etapa 04: Análise de mercado

Uma análise aprofundada do mercado é realizada nessa etapa, onde obtemos informações mais robustas acerca das tendências emergentes no mercado que podem afetar a indústria da construção e a adoção de tecnologias da Indústria 4.0, destacamos algumas das melhores práticas da CC que podem ser relevantes para a implementação das soluções digitais, as ações e iniciativas dos concorrentes e a demanda do cliente. Isso ajudará a empresa a posicionar suas estratégias de acordo com as dinâmicas do mercado e a escolher as tecnologias mais adequadas.

Uma proposta de guia para análise de mercado que pode ser usado para orientar a equipe de implementação na análise das tendências emergentes, as melhores práticas da indústria, as ações dos concorrentes, foi construído e está retratado no quadro 8 a seguir.

Quadro 8. Guia para análise de mercado

<p>Etapa 04: Análise de Mercado</p> <p>Guia para análise de mercado</p>
<p>Objetivo: Identificar as tecnologias e soluções digitais da indústria 4.0 que são mais adequadas para a empresa.</p>
<p>Público-alvo: Equipe de implementação do projeto e especialistas.</p>
<p>Metodologia:</p> <ul style="list-style-type: none"> • A metodologia deve ser baseada em uma abordagem de pesquisa e análise. <ul style="list-style-type: none"> - Entrevistas com especialistas. - Pesquisas de mercado. - Análise de artigos e publicações. - Análise de sites de fabricantes. • A metodologia deve ser flexível para permitir adaptações ao longo do processo de análise.
<p>Pesquisa:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Realizada para identificar as tecnologias e soluções digitais da indústria 4.0 que estão disponíveis no mercado.
<p>Análise:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Análise das características, benefícios, custos e riscos das tecnologias e soluções digitais, considerando a necessidades da empresa: Quais são as necessidades da empresa que as tecnologias e soluções digitais podem atender? • Análise de fornecedores: Os fornecedores de tecnologias e soluções digitais da indústria 4.0 devem ser avaliados de acordo com critérios de reputação, experiência, preço e suporte. • A análise de concorrentes: <ul style="list-style-type: none"> * Considerar os seguintes fatores: <ul style="list-style-type: none"> - Tecnologias e soluções digitais adotadas pelos concorrentes. - Benefícios das tecnologias e soluções digitais adotadas pelos concorrentes. - Custos das tecnologias e soluções digitais adotadas pelos concorrentes.
<p>Documentação:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lista de tecnologias e soluções digitais avaliadas: • Planilha resumo da análise de mercado

Uma planilha resumo, como mostra a proposta do quadro 9 adiante, reúne as informações, facilitando a análise em tela das informações. O quadro 9 traz em suas colunas as soluções digitais, categoria da tecnologia, principais características e benefícios, custos aproximados, fornecedores, principais concorrentes que já estão adotando a tecnologia ou solução digital e os recursos da empresa necessários para essas adoções.

Quadro 9. Quadro resumo da análise de mercado

Tecnologia ou solução	Categoria	Características	Benefícios	Custos aproximados	Fornecedores	Concorrentes	Recursos
Tecnologia X							
Solução Y							
Ferramenta Z							
etc...							

Fonte: Autor

Etapa 05: Definição das tecnologias e soluções digitais

Com base na análise do mercado e nas necessidades específicas da empresa, as tecnologias e soluções digitais mais apropriadas são selecionadas para definição. Essas podem variar desde a implementação de softwares BIM até a adoção de inteligência artificial, automação de processos através de robótica, impressão 3D, realidade aumentada para treinamento e visualização de projetos, entre outras.

Nessa etapa alguns critérios como relevância da tecnologia, viabilidade e custo-benefício são essenciais para dar suporte a definição das soluções a serem adotadas. A justificativa dessas definições pela equipe de implantação é ancorada nas respostas de um questionário que ajuda nessas informações. O quadro 10 adiante, elenca algumas perguntas propostas que dão suporte para definição das tecnologias e soluções digitais e que pode ser adaptado de acordo com informações trazidas de etapas anteriores.

Quadro 10. Proposta de questionário para definição das tecnologias

Etapa 05: Definição das Tecnologias e Soluções Digitais	
Objetivo: Identificar as tecnologias e soluções digitais da indústria 4.0 que são mais adequadas para a empresa.	
Público-alvo: Equipe de implementação	
Proposta de critérios de seleção:	
Relevância:	
<ul style="list-style-type: none"> • Atende às necessidades da empresa? • É capaz de resolver os problemas da empresa? • Oferece benefícios tangíveis para a empresa? 	
Viabilidade:	
<ul style="list-style-type: none"> • A empresa tem os recursos humanos e financeiros necessários para adotar a tecnologia ou solução digital? • A empresa tem a infraestrutura de TI necessária para adotar a tecnologia ou solução digital? 	
Custo-benefício:	
<ul style="list-style-type: none"> • O custo da tecnologia ou solução digital é acessível para a empresa? • A tecnologia ou solução digital oferece um bom retorno sobre o investimento? 	

Fonte: Autor

Com as informações da planilha resumo da etapa anterior é possível sintetizar em um formulário as definições das tecnologias e soluções dessa etapa 05. Como proposta o quadro 11 resumo reúne as perguntas objetivas necessárias ao público-alvo, no que trata de relevância, viabilidade e custo-benefício.

Quadro 11. Quadro resumo proposto do questionário para definição das tecnologias

Tecnologia ou solução	Relevância			Viabilidade		Custo-benefício		A tecnologia ou solução digital é factível de implementação ?
	Atende às necessidades da empresa?	É capaz de resolver os problemas da empresa?	Oferece benefícios tangíveis para a empresa?	A empresa tem os recursos humanos e financeiros necessários para adotar a tecnologia ou solução digital?	A empresa tem a infraestrutura de TI necessária para adotar a tecnologia ou solução digital?	O custo da tecnologia ou solução digital é acessível para a empresa?	A tecnologia ou solução digital oferece um bom retorno sobre o investimento?	
Tecnologia X								
Solução Y								
Ferramenta Z								
etc...								

Fonte: Autor

Etapa 06: Elaboração do plano de implementação

A empresa deve desenvolver uma metodologia clara para a implementação da Indústria 4.0. Isso deve incluir um plano detalhado que identifique os objetivos de cada solução digital, os marcos, os responsáveis por cada tarefa, os recursos necessários e os prazos. Este plano servirá como um roteiro para a implementação.

O quadro 12 abaixo mostra as etapas para elaboração de uma proposta de um plano de implementação que guiará todos os passos da equipe de implantação na introdução das soluções digitais na empresa.

Quadro 12. Etapas para elaboração de um plano de implementação

Etapa 06: Elaboração do plano de implementação
Objetivo: Elaborar um plano de implementação das tecnologias e soluções digitais escolhidas
Público-alvo: Equipe de implementação
Etapas do plano de implementação
Tecnologia 01
<ul style="list-style-type: none"> • Definição do objetivo; • Marcos; • Responsáveis; • Recursos necessários; • Prazos.
Tecnologia 02
<ul style="list-style-type: none"> • Definição do objetivo; • Marcos; • Responsáveis; • Recursos necessários; • Prazos.
...

Fonte: Autor

Etapa 07: Planejamento para investimento de capital financeiro e treinamento de pessoal

A empresa deve elaborar um plano de investimento para a compra e implementação das tecnologias escolhidas. Este passo envolve a determinação dos custos associados à implementação das tecnologias selecionadas, incluindo o custo de aquisição de *softwares* e equipamentos, integração, operação e manutenção. Além disso, um plano de treinamento para o pessoal deve ser desenvolvido para garantir que eles possam usar efetivamente as novas tecnologias.

Nessa etapa de planejamento para investimento de capital financeiro e treinamento de pessoal é possível compilar as informações em duas planilhas com os planejamentos financeiros e de treinamento de pessoal. O quadro 13 mostra uma planilha de investimento, cujas colunas trazem as informações da tecnologia ou solução identifica a tecnologia ou solução digital que será implantada, a categoria que identifica o tipo de recurso necessário para a implantação da solução digital, a coluna recursos identifica o tipo de recurso necessário para a implantação da tecnologia, o custo do recurso necessário, o prazo estima o prazo para a aquisição do recurso necessário e por fim a coluna total mostra o resultado do custo total dos recursos necessários para a implantação da tecnologia ou solução digital.

Quadro 13. Planilha de investimento

Tecnologia ou solução	Categoria	Recursos	Custo	Prazo	Total
Tecnologia X					
Solução Y					
Ferramenta Z					

Fonte: Autor

Já o quadro 14 mostra uma planilha de treinamento, cujas colunas trazem as informações da tecnologia ou solução identifica a tecnologia ou solução digital que será implantada, o público-alvo do treinamento, o conteúdo, metodologia, os recursos necessários para o treinamento, e por fim a coluna custos estima os custos do treinamento.

Quadro 14. Planilha de treinamento

Tecnologia ou solução	Público-alvo	Conteúdo	Metodologia	Recursos	Custos
Tecnologia X					
Solução Y					
Ferramenta Z					

Fonte: Autor

Etapa 08: Construção de um cronograma de implementação na empresa

Um cronograma de implementação deve ser desenvolvido, expondo as tarefas a serem realizadas, quem é responsável por cada uma delas e os prazos para sua conclusão. Este cronograma pode ser flexível para acomodar mudanças e obstáculos inesperados.

O quadro 15 adiante mostra uma proposta de cronograma adaptável para as empresas que traduz as informações necessárias da etapa 08, o qual relaciona as tecnologias a serem adotadas com sua duração da implementação ao longo do tempo

Quadro 15. Proposta de cronograma

Área a ser implementada	Setor responsável / Atores envolvidos	Etapa	Mês																								
			01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
Tecnologia X		Contratação de softwares / plataforma																									
		Capacitação e treinamento																									
		Implementação e uso da tecnologia																									
		Análise dos resultados																									
Solução Y		Aquisição dos equipamentos																									
		Capacitação e treinamento																									
		Implementação e uso da tecnologia																									
		Análise dos resultados																									
Ferramenta Z		Aquisição dos softwares e atualização dos computadores																									
		Capacitação e treinamento																									
		Implementação e uso da tecnologia																									
		Análise dos resultados																									
etc...		Aquisição de aplicativos móveis																									
		Capacitação e treinamento da ferramenta																									
		Implementação e uso da tecnologia																									
		Análise dos resultados																									
Avaliação e melhoria contínua a partir dos resultados																											

Fonte: Autor

Etapa 09: Implementação

Este é o estágio em que as tecnologias são realmente implementadas. Isso pode envolver a instalação e configuração de novos hardwares e *softwares*, a modificação de processos de negócios existentes, compra de equipamentos e o treinamento dos funcionários. A equipe de implementação também é a responsável por essa etapa e sua duração é durante todo o processo de implementação.

Basicamente as atividades de implementação incluem:

- Aquisição das tecnologias e soluções digitais selecionadas (hardware, software e equipamentos). A aquisição de hardware e software deve ser realizada de acordo com o cronograma e o orçamento aprovados.
- Treinamento dos funcionários. O treinamento de funcionários deve ser realizado de acordo com as necessidades específicas de cada tecnologia ou solução digital. É importante garantir que os funcionários estejam capacitados para utilizar as tecnologias e soluções digitais de forma eficiente e eficaz.
- Implementação das tecnologias. A implementação das tecnologias deve ser realizada de acordo com as instruções do fabricante, fornecedor ou treinamento realizado.

Etapa 10: Comunicação e engajamento

Durante todo o processo, é importante manter todos os envolvidos informados sobre o progresso do projeto. Isso pode envolver a realização de reuniões regulares de atualização e o envio de relatórios de progresso. Isso ajuda a gerenciar expectativas, obter *feedback*, garantir que todos entendam o que está acontecendo e por quê, e mantê-los engajados e apoiando a mudança.

Um esboço com uma planilha com as possíveis públicos-alvo para a comunicação e o engajamento de todos os stakeholders envolvidos no projeto está representado no quadro 16 abaixo. A proposta deve ser adaptada para atender às necessidades específicas de cada empresa.

Quadro 16. Proposta de comunicação e engajamento

Público-alvo	Conteúdo	Canal	Frequência
Funcionários	Status do projeto, benefícios das tecnologias e soluções digitais, treinamentos	Intranet, email, reuniões	mensalmente
Clientes	Novidades sobre as tecnologias e soluções digitais, benefícios para os clientes	Site, mídias sociais, email	Trimestralmente
Fornecedores	Oportunidades de negócios, parcerias com a empresa	Reuniões, eventos, email	Anualmente
Parceiros	Colaboração com a empresa	Reuniões, eventos, email	Anualmente

Fonte: Autor

Etapa 11: Resultados, avaliação e melhoria contínua

Após a implementação, é fundamental avaliar o sucesso do projeto. Isso envolve a medição de indicadores de desempenho, a análise dos resultados e a identificação de áreas que podem ser melhoradas. Este é um processo contínuo, pois a empresa deve sempre estar buscando maneiras de otimizar o uso de suas tecnologias e adaptar-se às mudanças nas demandas do mercado, para maximizar o valor de sua adoção à I4.0.

Alguns exemplos de indicadores de desempenho que podem ser adotados:

- Redução de custos: redução do custo de produção, redução do custo de

manutenção, redução do custo de logística, etc.

- Melhoria da produtividade: aumento da produção, aumento da eficiência, redução do tempo de ciclo, etc.
- Melhoria da qualidade: redução de defeitos, aumento da satisfação do cliente, etc.
- Melhoria da satisfação do cliente: Aumento da satisfação dos clientes com os produtos ou serviços oferecidos.

3.2 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

O capítulo "Proposta de metodologia de implantação de ferramentas e soluções digitais da Construção 4.0" apresenta uma metodologia com 11 etapas para a implantação de tecnologias e soluções digitais na construção civil. A metodologia é direcionada a empresas de pequeno porte, com características e recursos limitados. As 11 (onze) etapas da metodologia são:

- | | |
|---|--|
| 1.Contexto e situação da empresa; | 7.Planejamento para investimento de capital financeiro e treinamento de pessoal; |
| 2.Determinação das técnicas, coleta e análise de dados; | 8.Cronograma de implementação; |
| 3.Identificação das áreas da Construção 4.0; | 9.Implementação; |
| 4.Análise de mercado; | 10.Comunicação e engajamento; |
| 5.Definição das soluções digitais; | 11.Resultados, avaliação e melhoria contínua. |
| 6.Elaboração do plano de implementação; | |

A metodologia proposta é um importante passo para ajudar as empresas de pequeno porte da construção civil a se beneficiarem das tecnologias digitais. Cada etapa da metodologia é acompanhada de instrumentos e formulários que podem ser usados para facilitar sua implementação. A metodologia proposta no capítulo oferece um caminho estruturado para ajudar as empresas de pequeno porte a implementarem essas tecnologias com sucesso.

O capítulo destaca também a importância da comunicação e do engajamento de todos os stakeholders envolvidos no projeto de implantação das tecnologias digitais. Do mesmo modo ressalta a necessidade de avaliação contínua dos resultados do projeto, para identificar áreas que podem ser melhoradas.

4 ESTUDO DE CASO

Neste capítulo será apresentado o estudo de caso em uma construtora com atuação na região da Mata Norte de Pernambuco, cujo objetivo é a implementação de tecnologias e soluções digitais da Indústria 4.0 na organização.

O estudo de caso será dividido em 5 etapas. A figura 3 traz uma ilustração com um fluxograma da sequência adotada no estudo de caso.

Figura 3. Sequência do estudo de caso



Fonte: Autor

4.1 CONTEXTO DA UNIDADE-CASO

Apesar de uma implementação lenta, a indústria da construção tem procurado mais apoio das inovações tecnológicas, reconhecendo o valor da tecnologia como diferencial competitivo. No entanto, a fragmentação do setor, com muitas pequenas e médias empresas, bem como os desafios de implementação da Indústria 4.0, atualmente limitam a aplicação das tecnologias e mantêm o setor em um estágio experimental. A digitalização da indústria da construção civil, coordenada com estratégias e iniciativas de alto nível, pode aumentar a competitividade do setor, melhorar a eficiência operacional e gerar benefícios significativos.

Nessa conjuntura, a empresa estudada, diante de seus problemas e suas limitações, busca uma maior competitividade no mercado, adotando soluções tecnológicas da construção 4.0.

A empresa em foco trata-se de uma empresa de pequeno porte, com operação no interior do Estado de Pernambuco no ramo da construção civil, possui aproximadamente 100 colaboradores, trabalha rotineiramente com subcontratações, tendo sua atividade no mercado desde 2013. A empresa possui 6 obras em andamento, nas cidades de Paudalho, Buenos Aires e São Vicente Férrer, desde a construção de edificação de múltiplos pavimentos, reformas de prédios públicos, pavimentação em paralelepípedo e intertravados, saneamento básico, entre outros serviços.

É uma empresa familiar, culturalmente aversa a mudanças e que não acompanhou os

avanços digitais ou adotou soluções que melhorassem seus processos construtivos, gerenciais ou planejamento, como o cenário dos últimos anos exigiu que o fizesse, ficando estagnada neste sentido. A situação da não implantação dos avanços digitais no setor, gera problemas na empresa como: baixa eficiência operacional, atrasos nas tomadas de decisão, dificuldades no gerenciamento de projetos e redução da competitividade no mercado devido ausência de investimento em soluções digitais.

A empresa apresenta baixa automação de seus processos, bem como uma estrutura deficiente de equipamentos de informática para produtividade de atividades específicas de engenharia e arquitetura. Também possui limitações quanto ao uso de equipamentos de fiscalização, gestão e controle de obras. A equipe técnica formada por engenheiros civis e técnicos possuem habilidade técnica insuficiente para desenvolvimento de trabalhos com uso *softwares*, como o *Revit* da Autodesk, por exemplo. Também não há incentivo ou prática por parte da empresa de investir em treinamentos aos colaboradores.

Considerando esse estudo de caso do tipo único, a seleção dos casos foi restrita a empresa estudada.

4.2 DETERMINAÇÃO DAS TÉCNICAS E COLETA DE DADOS

O estudo de caso requereu a utilização de fontes documentais, entrevistas, visitas técnicas e observações. Documentos da empresa como atas de reunião entre as equipes gestora e técnica, entrevistas com dirigentes e funcionários da empresa e levantamentos dos problemas encontrados na empresa correlacionados ao tema estudado, bem como reuniões com diretores e técnicos da empresa no período de dezembro de 2022 a janeiro de 2023, nas quais foram apresentados relatórios preliminares da situação que a empresa enfrenta, também abasteceram e fizeram parte da fase de coleta de dados.

A partir deste ponto foi dado início as etapas de diagnóstico e implementação na construtora da metodologia proposta para adotar tecnologias e soluções digitais na empresa.

4.3 DIAGNÓSTICO

Neste tópico será apresentado o diagnóstico da construtora em estudo, apontando os problemas levantados em várias áreas da empresa, cujo resultado servirá de base como parte da aplicação da proposta de metodologia de implementação das 11 etapas.

4.3.1 Serviços com difícil acesso e inspeção em fachadas

As figuras 4 e 5, são fotografias que mostram situações passadas nas quais houve dificuldade em relação a vistoria de serviços diversos. A figura 4 mostra a execução de uma cobertura em uma obra em São Vicente Férrer-PE, cuja subida ao serviço há difícil acesso.

Figura 4. Instalação de terças em cobertura



Fonte: Autor

A figura 5 destaca um reservatório superior de água que apresentou vícios de construção após os testes de estanqueidade. Devido sua altura (superior a 20(vinte) metros), o engenheiro responsável pela inspeção visual não conseguiu realizar uma análise das fachadas de forma satisfatória.

Figura 5. Vício construtivo num reservatório elevado



Fonte: Autor

A empresa estudada não conta com a utilização de drones para vistorias e fiscalização desses serviços. O uso de drones facilitaria o acompanhamento em tempo real da execução de serviços de cobertura e a fiscalização dos colaboradores no atendimento às normas regulamentadoras de segurança do trabalho. Também seria possível realizar a inspeção visual em fachadas de edifícios a fim de identificar possíveis manifestações patológicas ou vícios construtivos.

Sobre isso, Ballesteros e Lordsleem Junior (2021), pesquisaram o uso de VANT para inspeção de manifestações patológicas em fachadas, apontando que o mapeamento fotográfico completo do estado de conservação da fachada, com esses equipamentos pode minimizar a ocorrência de omissões na inspeção de manifestações patológicas quando comparado com uma análise de fotografias que registram unicamente pontos de interesse em segmentos parciais da fachada.

4.3.2 Incompatibilização entre projetos

Em 2020, a empresa desse estudo iniciou a construção de uma edificação mista de 3 pavimentos com área construída de 1115,00 m² na cidade de Paudalho-PE, conforme plantas (Figuras 6a e 6b), a elaboração dos projetos se deu de forma descentralizada, com autores diferentes das áreas de arquitetura, cálculo estrutural, instalações elétricas e instalações

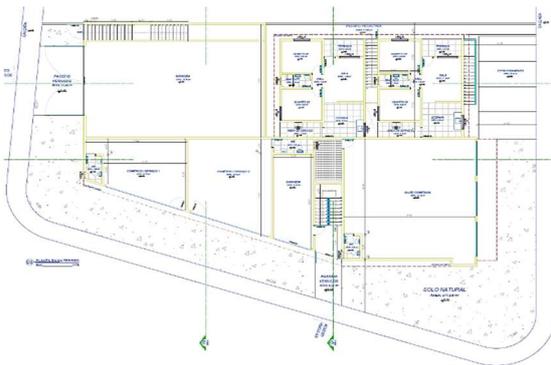
hidrossanitárias. Mesmo após a análise crítica dos respectivos projetos pelo corpo técnico da empresa, durante a execução da obra algumas incompatibilidades entre projetos surgiram, como:

- I. Compatibilidade entre projetos arquitetônico e estrutural
 Conflito: Janela BWC Soc. posicionada adentrando o Pilar P07.
 Localização: apartamentos 01, 03 e 05.
 Procedimento realizado: Recuar a janela faceando com o pilar.

- II. Compatibilidade entre projetos de instalações elétricas e instalações hidrossanitária
 Conflito: Cruzamento entre eletroduto e tubulação do dreno do ar-condicionado na parede
 Localização: apartamentos 01 a 06.
 Procedimento realizado: Reposicionamento de eletroduto.

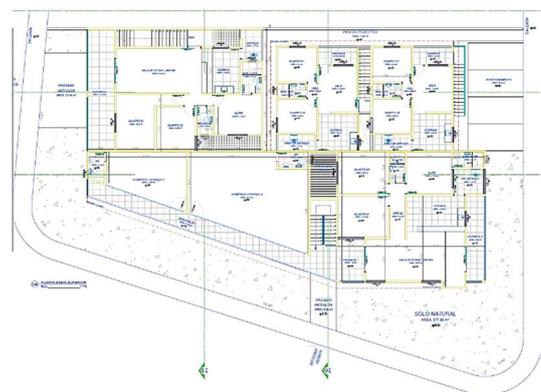
- III. Compatibilidade entre estrutural e instalações hidrossanitária
 Conflito: Cruzamento entre tubo de esgoto e viga V50, em que sua altura de seção não permitia a passagem da tubulação de esgoto DN100.
 Localização: térreo.
 Procedimento realizado: Alteração no projeto estrutural com ajuste na altura da viga.

Figura 6a. Planta térreo



Fonte: Autor

Figura 6b. Planta dos pavimentos superiores



Fonte: Autor

Tal situação confirma os estudos de Dos Santos, Mota e Zanlucas (2021) que durante a realização dos projetos (hidráulico, estrutural e elétrico), muitos elementos acabam gerando conflitos físicos e funcionais, devido às restrições de cada sistema. Essas interferências não

Essa metodologia, já ultrapassada, gera atrasos, não traz efetividade no processo de tomada de decisão, bem como limita e protela o acesso as informações.

Estudos recentes mostram que a computação móvel permite uma conectividade digital eficiente e que pode ser adotada nessas situações. Andrade, Assis e Brochardt (2015) destacam a importância de utilizar dispositivos móveis, como smartphones e tablets, para melhorar o fluxo de informações no canteiro de obras. Esses dispositivos podem ser relativamente baratos em comparação com outros investimentos tecnológicos e oferecem uma série de benefícios no gerenciamento de projetos de construção civil.

4.3.4 Orçamentos de obras usando planilha digital

A gestão do orçamento da obra é um componente crucial e desafiante no processo construtivo. A exatidão e a eficiência do orçamento são essenciais para o êxito do projeto. Hoje, uma das ferramentas ainda muito utilizadas para a gestão de orçamentos de obras é o *Microsoft Excel*, inclusive pela empresa estudada. Apesar de ser uma ferramenta útil, ele também possui algumas restrições que podem impactar a qualidade do orçamento e a segurança das informações.

Os problemas suscetíveis a ocorrer, na empresa são os erros de cálculo ou digitação na elaboração dos orçamentos, atrasos decorrentes da falta de atualização das bases usadas ou ausência de automatização da planilha, bem como a dificuldade de integração dos dados entre as equipes. Uma falta de recurso que limita a ferramenta é a ausência de geração de relatórios da orçamentação, como os relatórios de composições analíticas com e sem BDI (Bonificação e Despesas Indiretas), curva abc de insumo e serviços e outros.

A adoção de uma solução digital nesta área da empresa como softwares em nuvem deve mitigar os problemas que a empresa transita. Neste sentido, Avinte, Nascimento e Nascimento (2019), demonstram que as vantagens da computação em nuvem são evidentes na redução de custos relacionados à infraestrutura física, bem como nos gastos para manter o serviço funcionando.

4.4 IMPLEMENTAÇÃO NA UNIDADE-CASO

Aplicação da Etapa 01: Contexto e situação da empresa em foco

Uma reunião com os atores envolvidos da construtora (equipe técnica e representantes da direção) e previamente definido os responsáveis pelo projeto de implementação de tecnologias e soluções digitais na empresa, deu-se início as tratativas e aplicação das 11 etapas

propostas anteriormente na construtora em estudo.

Com o objetivo de compreender a atual situação da empresa, incluindo informações de sua maturidade digital, as estratégias existentes, os recursos humanos disponíveis bem como para permitir que os respondentes expressem suas opiniões e ideias, consoante propósito desta etapa, um questionário foi realizado por meio de entrevistas pessoais, contando com três atores participantes sendo eles: o gerente de obras, a diretora-presidente e um engenheiro civil.

O questionário abaixo, mostra a consolidação dessas informações e a transcrição das respostas dos participantes. Ele tem como Objetivo principal a coleta de informações sobre o nível de maturidade digital, as estratégias existentes, as capacidades de TI e os recursos disponíveis da empresa, seu público-alvo foram 2 (dois) funcionários da empresa, sendo um engenheiro civil, com mais de 5 anos de experiência na empresa, responsável pela gestão e acompanhamento das obras, um gerente de obras, com mais de 10 anos de ocupação na empresa nesse ramo, responsável pelo gerenciamento das obras e corpo técnico, e o outro respondente é a diretora-presidente da empresa, fundadora e administradora responsável pela organização. A forma de aplicação foi através de entrevistas presenciais.

Perguntas:

- Qual é o seu nível de conhecimento sobre tecnologias digitais?

Respondente 1: Pouquíssimo conhecimento, só ouvi falar.

Respondente 2: Conheço algumas tecnologias, já vi em outras empresas, mas nunca utilizei.

Respondente 3: Já pesquisei sobre algumas novidades na área de construção civil, bem superficial

- Quais são as principais tecnologias digitais utilizadas na empresa?

Respondente 1: O setor de orçamento usa algum software que agiliza a entrega dos orçamentos das obras.

Respondente 2: Desconheço que utilizem.

Respondente 3: Alguns funcionários usam softwares de otimização

- Qual é a cultura da empresa em relação à mudança e inovação?

Respondente 1: A empresa é aberta a mudanças desde que ofereça baixo risco financeiro e que seja proveitoso a longo prazo.

Respondente 2: A construtora é muito presa a velhos hábitos

Respondente 3: É lenta, pode melhorar

- Qual(is) é(são) a(s) principal(is) estratégia(s) da empresa para o futuro?

Respondente 1: Ficar melhor posicionada no mercado.

Respondente 2: Utilizar melhor o potencial dos funcionários, digitalizar seus processos, expandir os negócios.

Respondente 3: Fazer a empresa crescer.

- Na sua opinião como as tecnologias digitais podem contribuir para o alcance dessas estratégias?

Respondente 1: Tudo que vem para somar é importante.

Respondente 2: Aumentar a produtividade em várias áreas.

Respondente 3: Trazer benefícios para a empresa.

- Quais são as principais deficiências de TI da sua empresa?

Respondente 1: Equipamentos de trabalho insuficientes.

Respondente 2: Falta investimento em hardware.

Respondente 3: Não sei especificar.

- Quais são os desafios enfrentados pela empresa na adoção de tecnologias digitais?

Respondente 1: Desembolso financeiro.

Respondente 2: Treinamento de pessoal e possíveis custos elevados.

Respondente 3: Custos.

- Quais são as principais habilidades e competências dos funcionários da sua empresa?

Respondente 1: A equipe é esforçada e competente.

Respondente 2: Os profissionais são inteligentes e já são do mundo digital.

Respondente 3: O pessoal aprende tudo muito rápido.

- Nesse contexto, quais são as principais necessidades de treinamento dos funcionários da sua empresa?

Respondente 1: Nas áreas novas que forem investidas.

Respondente 2: Treinamento de pessoal em todas as tecnologias novas.

Respondente 3: Atualizações de conhecimento.

A análise das respostas revela que a construtora se encontra em um estágio inicial de maturidade digital. Apesar de caminhar a uma abertura à mudança e do reconhecimento do potencial das tecnologias digitais, a empresa enfrenta desafios como falta de conhecimento e experiência prática com tecnologias digitais, equipamentos de trabalho insuficientes, falta de investimento em hardware, custos de treinamento.

Para superar esses desafios e alcançar seus objetivos estratégicos, os respondentes nos trazem *insights* que a empresa precisa investir em treinamento de pessoal em todas as áreas de interesse da Indústria 4.0, modernização da infraestrutura de TI, aquisição de softwares e hardwares adequados e a criação de uma cultura de inovação e aprendizado contínuo.

Aplicação da Etapa 02: Determinação das técnicas, coleta e análise de dados

Nesta etapa o objetivo central é identificar as técnicas de coleta de dados necessárias para reunir informações suficientes sobre a empresa, coletar e analisar os dados. A equipe de implantação estabeleceu o roteiro da definição das técnicas de coleta de dados, com os seguintes passos:

1. Pesquisa de mercado que será usada para coletar informações sobre as tendências emergentes, as melhores práticas da construção civil e as ações dos concorrentes.
2. Entrevistas com funcionários: As entrevistas com funcionários podem ser usadas para coletar informações sobre o nível de maturidade digital da empresa, identificando quais os níveis de familiaridade com as tecnologias da indústria 4.0 dos envolvidos.
3. Observações no local de trabalho.
4. Análise de dados secundários: A análise de dados de produção e análises de projetos, outros.

Coletados os dados conforme definidos pelo roteiro, foi elaborado uma planilha que ajudará na análise dos dados desta etapa, conforme quadro 17 adiante.

Etapa 02: Análise de dados			
Tipo de dado	Fonte de dados	Descrição do dado	Análise
Entrevista	Funcionários	Nível de satisfação dos funcionários com as tecnologias existentes	A maioria dos funcionários pesquisados não está satisfeito com as tecnologias existentes e gostariam de ver melhorias em alguns aspectos.
Questionário	Clientes	Nível de satisfação dos clientes com os serviços da empresa (projetos).	Os clientes estão satisfeitos parcialmente com os produtos e serviços da empresa, mas gostariam de ver um aumento na qualidade final.
Observação	Operações de campo	O tempo de execução de tarefas (SST).	O tempo de execução de tarefas pode ser reduzido pela automação de processos.
	Serviços técnicos	O tempo de execução de tarefas (Orçamentos)	O tempo de elaboração pode ser reduzido pela digitalização do processo.
Análise de dados secundários	Setor da Construção civil	Tendências do mercado	O mercado da construção civil está crescendo e a demanda por tecnologias da Construção 4.0 está aumentando.
	Levantamento de informações internas	Problemas enfrentados na empresa: atrasos nas fiscalizações dos serviços	Ponto crítico a ser atendido. Atrasos devem ser superados com novas soluções.

Fonte: Autor

Aplicação da Etapa 03: Identificação das áreas da Construção 4.0

O objetivo principal nessa etapa é identificar quais áreas podem se beneficiar mais da adoção de tecnologias da construção 4.0. A equipe de implementação já de posse das várias informações das etapas anteriores elenca num quadro com as áreas identificadas para aplicação de tecnologias da construção 4.0 (quadro 18), para facilitar e orientar a empresa na identificação das áreas que podem se beneficiar mais da adoção dessas tecnologias e projetar seu potencial.

Quadro 18. Áreas identificadas para aplicação de tecnologias da construção 4.0 do estudo de caso

Etapa 03: Áreas Identificadas para Aplicação de Tecnologias da Construção 4.0			
Área da Empresa	Tecnologias Potenciais	Recursos Necessários	Considerações Adicionais
Gestão de projetos	Inteligência artificial	capital financeiro, infraestrutura de TI	Poucos profissionais no mercado na área de CC
	Computação na nuvem	capital financeiro, infraestrutura de TI	Precisar integrar melhor todos os setores da empresa

Continuação do quadro 18

Área da Empresa	Tecnologias Potenciais por Área	Recursos Necessários	Considerações Adicionais
Operações de campo	Drones	capital financeiro, aquisição de equipamentos	Tecnologia vastamente utilizada na atualidade
Arquitetura	BIM	capital financeiro, infraestrutura de TI	Tecnologia vastamente utilizada na atualidade
Gerenciamento de materiais / equipamentos	Rastreamento	capital financeiro	Dificuldade de usabilidade em cidades do interior
	Sensores	capital financeiro	Poucos profissionais no mercado na área de CC
Orçamento	Computação na nuvem	capital financeiro	Tecnologia vastamente utilizada na atualidade
Operações de campo	Realidade Virtual	capital financeiro	Poucos profissionais no mercado na área de CC
	Internet das Coisas	capital financeiro	Dificuldade de usabilidade em cidades do interior
	Computação móvel	capital financeiro	Tecnologia pode ser usada por smartphones e tablets

Fonte: Autor

Aplicação da Etapa 04: Análise de mercado

Nesta etapa temos como objetivo a identificação das tecnologias e soluções digitais da indústria 4.0 que são mais adequadas para a empresa. A equipe de implementação do projeto é a responsável pelo levantamento e agrupamento das informações.

Nessa fase foi seguido um guia para análise de mercado com as etapas de metodologia, pesquisa, análise e a produção de uma documentação parcial conforme exposto no quadro 19, que será usado para orientar a equipe de implementação na análise das tendências emergentes, as melhores práticas da indústria, as ações dos concorrentes.

Quadro 19. Análise de mercado do estudo de caso

Guia para análise de mercado
<p>Objetivo: Identificar as tecnologias e soluções digitais da indústria 4.0 que são mais adequadas para a empresa.</p> <p>Público-alvo: Equipe de implementação do projeto e especialistas.</p> <p>Metodologia: A metodologia será baseada em:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pesquisas de mercado; - Análise de artigos e publicações. <p>Pesquisa: Levantamento das tecnologias e soluções digitais da indústria 4.0 que estão disponíveis no mercado, aplicáveis a CC.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Entrevista com clientes, gestores, diretores e engenheiros de obras de empresas concorrentes; - Mídias sociais das construtoras; - Pesquisas em bases de buscas científicas como Web of Science, SCOPUS e SCIELO. <p>Análise:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Análise preliminar das tecnologias e dos concorrentes. <p>Documentação:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Quadro com as tecnologias e soluções digitais avaliadas e a análise de mercado.

Fonte: Autor

▪ Da Pesquisa de Mercado (concorrentes)

O quadro 20 abaixo, resume a pesquisa de mercado com as tecnologias ou soluções digitais que os concorrentes que operam na região de atuação da construtora em estudo.

Quadro 20. Pesquisa de mercado (concorrentes)

Tecnologia ou solução	Categoria	Concorrentes	Região de Atuação no Estado de Pernambuco
Drones	Robótica	Concorrente 01	Mata Norte / Agreste Setentrional
		Concorrente 02	Mata Norte
Software de orçamento na nuvem	Computação na nuvem	Concorrente 03	Mata Norte
		Concorrente 04	Mata Norte
		Concorrente 05	Mata Norte/ Região Metropolitana

Fonte: Autor

- Da Pesquisa em artigos e publicações

Na pesquisa e análise de artigos e publicações, as tecnologias que podem ser aplicadas na construtora, foram pesquisadas em bases de buscas científicas como Web of Science, SCOPUS e SCIELO e deram outros insights, abrangendo o horizonte de informações nesta fase. O quadro 21 abaixo, sintetiza as informações pesquisadas nos artigos científicos que contribuíram para uma análise posterior.

Quadro 21. Pesquisa em artigos e publicações

Pesquisa / Estudo Desenvolvido Autor(es)(ano)	Área de Estudo	Base de Busca
Nwaogu <i>et al.</i> (2023)	Drones	Web of Science (Clarivate Analytics)
Takva e Ilerisoy (2023)		Web of Science (Clarivate Analytics)
Yi e Sutrisna (2021)		SCOPUS
Ramly, Mohamad e Noor (2023)	BIM	SCOPUS
Wang e Chen (2023)		SCOPUS
Caldart e Scheer (2022)		SCIELO
Devisree <i>et al.</i> (2022)	Computação móvel	SCOPUS
Huang <i>et al.</i> (2022)		SCOPUS
Marques <i>et al.</i> (2020)		SCOPUS
Ali <i>et al.</i> (2022)	Computação na nuvem	SCIELO
Azadi <i>et al.</i> (2021)		SCOPUS
Bello <i>et al.</i> (2021)		SCOPUS
Moudgil <i>et al.</i> (2023)	Internet das Coisas	SCOPUS
Tan <i>et al.</i> (2023)		SCOPUS
Mishra, Lourenço e Ramana (2022)		Web of Science (Clarivate Analytics)

Fonte: Autor

- Análise preliminar das tecnologias e dos concorrentes

A pesquisa de mercado identificou várias tecnologias e soluções digitais da indústria 4.0 que estão disponíveis na região, mas nem todas atendem os objetivos desse projeto de implantação.

- Sobre o uso de Drones: 2(dois) concorrentes estão utilizando a tecnologia nas áreas de fiscalização de obras e relatórios fotográficos dos boletins mensais de medição de obras. Há muito conteúdo em artigos científicos sobre sua aplicação.

- Sobre o uso da computação na nuvem: Pelo menos 3(três) empresas do universo pesquisado estão usando softwares online para elaboração de orçamentos. Há alguns artigos científicos em relação ao tema e a indústria da CC mostra facilidade de implantação para esse fim.
- Sobre o BIM: Na região de atuação da empresa em estudo, no universo pesquisado, construtoras que tenham a ferramenta BIM adotada na organização. Bastante ampla a quantidade de conteúdo disponível nas bases de busca científica, artigos e livros sobre o tema. Grande potencial de ganhos para empresa com sua adoção.
- Computação móvel: O uso nas empresas pesquisadas é limitado as funções cotidianas de envio de documentação, reuniões, acesso a informações remota. Há vários estudos de caso em artigos e na literatura sobre essa tecnologia e suas aplicações. Também há grande potencial de ganhos para empresa com sua adoção.
- Internet das coisas: Não há uso por parte das empresas pesquisadas sobre a adoção dessa tecnologia. Há muito conteúdo em artigos científicos sobre sua aplicação.

O quadro 22 abaixo mostra um resumo das tecnologias pesquisadas bem como sua análise preliminar. O quadro 22 traz em suas colunas as soluções digitais, principais características e benefícios, fornecedores, custos aproximados (investimento em softwares, hardwares e treinamentos de pessoal), principais concorrentes que já estão adotando a tecnologia ou solução digital e os recursos da empresa necessários para essas adoções.

Quadro 22. Resumo das tecnologias pesquisadas

Tecnologia ou solução	Características	Benefícios	Fornecedores	Custos totais aproximados nos anos de implantação	Concorrentes	Recursos
Drones	Campo de visão multiplicado	Melhoria na produtividade de atividades técnicas	Fornecedor A Fornecedor B Fornecedor C	R\$ 4.000,00	Concorrente 01 Concorrente 02	Capital financeiro
Computação na nuvem	Uso de softwares remotos	Melhoria na produtividade de atividades técnicas	Fornecedor D Fornecedor E	R\$ 4.200,00	Concorrente 03 Concorrente 04 Concorrente 05	Capital financeiro
BIM	Modelagem 3D	compatibilização entre projetos	Fornecedor F	R\$ 33.900,00	Não localizado	Capital financeiro Recursos humanos
Internet das Coisas	Conectividade de pessoas e dispositivos	Melhoria na comunicação, digitalização da empresa	-	sem viabilidade local	Não localizado	Capital financeiro
Computação móvel	Soluções que podem ser usadas a partir de smartphones e tablets	Melhoria da produtividade das operações de campo	Fornecedor G	R\$ 6.800,00	Não localizado	Capital financeiro

Fonte: Autor

Aplicação da Etapa 05: Definição das tecnologias e soluções digitais

O objetivo nesta fase é definir as tecnologias e soluções digitais para serem adotadas pela empresa com base nas análises anteriores e nas necessidades específicas da organização. A fim de obter mais informações, agora acerca da viabilidade, relevância e custo-benefício das tecnologias levantadas, outra coleta de dados é realizada, com entrevista presenciais contanto com três atores participantes da empresa sendo eles: o gerente de obras, um integrante da direção e um engenheiro civil.

De posse das análises preliminares da etapa anterior e explanado seus conceitos, benefícios, oportunidades e desafios, para cada uma das cinco soluções digitais aventadas na etapa 04, foram feitas as seguintes perguntas aos respondentes:

Sobre a relevância dessas tecnologias:

- Atende às necessidades da empresa?
- É capaz de resolver os problemas da empresa?
- Oferece benefícios tangíveis para a empresa?

Viabilidade:

- A empresa tem os recursos humanos e financeiros necessários para adotar a tecnologia ou solução digital?
- A empresa tem a infraestrutura de TI necessária para adotar a tecnologia ou solução digital?

Custo-benefício:

- O custo da tecnologia ou solução digital é acessível para a empresa?
- A tecnologia ou solução digital oferece um bom retorno sobre o investimento?

A partir dos resultados que se apresentaram com as respostas das entrevistas, foi possível obter informações estratégicas importantes para a continuidade do projeto de implantação das tecnologias da I4.0 na construtora. A avaliação dos resultados pela equipe de implantação aponta para os seguintes termos:

1. Quatro das cinco propostas de tecnologias e soluções digitais (BIM, computação móvel, computação em nuvem e uso de drones) foram aceitos por todos os atores entrevistados da empresa.
2. Sobre a relevância dessas tecnologias para a empresa, os respondentes convergem que as mesmas atendem necessidades de melhorar a segurança e a produtividade

dos serviços técnicos, de planejamento e operacional. São capazes de resolver os problemas que se mostram atualmente na empresa bem como oferece benefícios tangíveis em suas adoções.

3. As tecnologias mostram-se viáveis, à vista que a empresa tem os recursos humanos e financeiros necessários para adotá-las. A empresa também tem previsão de investimento em novos equipamentos, a curto e médio prazo.
4. O custo das tecnologias selecionadas é acessível para empresa. Há indicativos que haverá redução de despesas para a organização, prevalecendo o custo-benefício.

O quadro 23 resumo reúne as perguntas e respostas objetivas realizadas ao público-alvo, no que trata de relevância, viabilidade e custo-benefício.

Quadro 23. Quadro resumo do questionário para definição das tecnologias

Tecnologia ou solução	Relevância			Viabilidade		Custo-benefício		A tecnologia ou solução digital é factível de implementação na empresa?
	Atende às necessidades da empresa?	É capaz de resolver os problemas da empresa?	Oferece benefícios tangíveis para a empresa?	A empresa tem os recursos humanos e financeiros necessários para adotar a tecnologia ou solução digital?	A empresa tem a infraestrutura de TI necessária para adotar a tecnologia ou solução digital?	O custo da tecnologia ou solução digital é acessível para a empresa?	A tecnologia ou solução digital oferece um bom retorno sobre o investimento?	
DRONES	Sim	Sim	Sim	sim	sim	sim	sim	SIM
COMPUTAÇÃO MÓVEL	Sim	Sim	Sim	sim	sim	sim	sim	SIM
COMPUTAÇÃO NA NUVEM	Sim	Sim	Sim	sim	sim	sim	sim	SIM
INTERNET DAS COISAS	Sim	Sim	Sim	sim	não	não	não foi possível levantar informações	NÃO
BIM	Sim	Sim	Sim	sim	sim	sim	sim	SIM

Fonte: Autor

Aplicação da Etapa 06: Elaboração do plano de implementação

Definidas as tecnologias que serão implementadas na construtora, essa etapa concerne em elaborar um plano detalhado que identifique os objetivos de cada solução digital, os marcos, os responsáveis por cada tarefa, os recursos necessários e os prazos. Este plano servirá como um roteiro para a implementação.

➤ Do plano de implementação

Objetivo: Elaborar um plano de implementação das tecnologias e soluções digitais escolhidas

Público-alvo: Equipe de implementação

Tecnologia 01: Computação em nuvem

- Definição do objetivo:
 - Otimizar e aumentar a produtividade na área de orçamentos da empresa;

- Marcos:
 - Mês 1: Contratação dos softwares / plataforma na nuvem
 - Mês 2: Capacitação e treinamento
 - Mês 3: Implementação e uso da tecnologia
 - Mês 7: Análise dos resultados
 - Setor responsável:
- Orçamentos
 - Envolvidos:
- Técnicos de edificações e engenheiros civis.
 - Recursos necessários: recursos financeiros
 - Prazo para Início: Fev/2023

Tecnologia 02: Drones

- Definição do objetivo:
 - Acompanhamento em tempo real a execução de serviços de cobertura e a fiscalização dos colaboradores no atendimento às normas regulamentadoras de segurança do trabalho;
 - Realizar a inspeção visual em fachadas de edifícios a fim de identificar possíveis manifestações patológicas ou vícios construtivos.
 - Marcos:
 - Mês 5: Aquisição dos equipamentos
 - Mês 6: Capacitação e treinamento
 - Mês 8: Implementação e uso da tecnologia
 - Setor responsável:
 - Gestão de Obras
 - Envolvidos:
 - Técnicos de edificações, mestre de obras e engenheiros civis.
 - Recursos necessários:
 - Recursos financeiros
 - Prazo para Início: Jan/2024

Tecnologia 03: BIM

- Definição do objetivo:
 - Cessar as incompatibilizações entre projetos;
 - Solucionar na fase de projeto, as interferências que ocasionaram interrupções na construção.

- Marcos:
 - Mês 8: Aquisição dos softwares e atualização dos computadores
 - Mês 11: Capacitação e treinamento
 - Mês 17: Implementação e uso da tecnologia
 - Setor responsável:
 - Projetos
 - Envolvidos:
 - Técnicos de edificações, arquitetos e engenheiros civis.
 - Recursos necessários:
 - Recursos financeiros
 - Novos equipamentos
 - Recursos humanos
 - Prazo para Início: Ago/2024

Tecnologia 04: Computação móvel

- Definição do objetivo:
 - Digitalizar os processos da gestão da segurança e saúde dos trabalhadores da empresa;
 - Integrar os serviços em uma plataforma online.
 - Marcos:
 - Mês 13: Aquisição dos aplicativos móveis
 - Mês 13: Capacitação e treinamento da ferramenta
 - Mês 15: Implementação e uso da tecnologia
 - Setor responsável:
 - Gestão da SST
 - Envolvidos:
 - Técnicos de edificações, arquitetos, engenheiros civis, gestores e diretores.
 - Recursos necessários:
 - Recursos financeiros
 - Novos equipamentos
 - Prazo para Início: Mar/2024

Aplicação da Etapa 07: Planejamento para investimento de capital financeiro e treinamento de pessoal

Nessa etapa de planejamento para investimento de capital financeiro e treinamento de

peçoal é possível compilar as informações em duas planilhas com os planejamentos financeiros e de treinamento de peçoal.

O quadro 24 mostra uma planilha de treinamento, cujas colunas trazem as informações da tecnologia ou solução identifica a tecnologia ou solução digital que será implantada, o público-alvo do treinamento, o conteúdo, metodologia, os recursos necessários para o treinamento, e por fim a coluna custos estima os custos do treinamento.

Quadro 24. Planilha de treinamento

| Tecnologia ou solução | Público-alvo | Conteúdo | Metodologia | Recursos físicos | Custos |
|-----------------------|---|---|--|---|--------------|
| Computação em nuvem | Técnicos de edificações e engenheiros civis | -Exercícios práticos
-Simulações | Exercícios práticos e debates | Sala de aula equipada com computadores e projetor | - |
| Uso de drones | Engenheiros civis, Técnico de edificações, Mestre de obras | -Operabilidade de drones
-Aplicações de drones na CC
-Simulações
-Equipamentos de segurança
-Área para voos de drones | Exercícios práticos e debates | Drones e espaço para voos | R\$ 500,00 |
| BIM | Engenheiros civis, Técnico de edificações, Arquitetos | -Fundamentos do BIM
-Processos de modelagem BIM
-Aplicações do BIM na indústria
-Aulas expositivas
-Simulações | Aulas expositivas, exercícios práticos | Sala de aula equipada com computadores e projetor | R\$ 14000,00 |
| Computação móvel | Técnicos de edificações, arquitetos, engenheiros civis, gestores e diretores. | -Simulações
-Aplicativos móveis | Exercícios práticos e debates | Sala de aula, equipamentos móveis | - |

Fonte: Autor

Já o quadro 25 mostra uma planilha de investimento, cujas colunas trazem as informações da tecnologia ou solução identifica a tecnologia ou solução digital que será implantada, a coluna recursos identifica o tipo de recurso necessário para a implantação da tecnologia, o custo do recurso necessário, o prazo estima o prazo para a aquisição do recurso necessário e por fim a coluna total mostra o resultado do custo total dos recursos necessários para a implantação da tecnologia ou solução digital.

Quadro 25. Planilha de investimentos

| Tecnologia ou solução | Recursos | Custo | Prazo | Total |
|-----------------------|--|--------------|----------|--------------|
| Computação em nuvem | Software: OrçaFascio + adicionais | R\$ 4200,00 | 1 mês | R\$ 49100,00 |
| Uso de drones | DJI Mini 2 SE | R\$ 3700,00 | 3 meses | |
| | Capacitação (profissional liberal) | R\$ 500,00 | 1 mês | |
| BIM | Software: Revit (2023) Autodesk | R\$ 3900,00 | 12 meses | |
| | Upgrade hardware/ Aquisição de Desktops (2unid.) | R\$ 16000,00 | 24 meses | |
| | Capacitação: Empresa de cursos presenciais (Recife-PE) | R\$ 14000,00 | 12 meses | |
| Computação móvel | Software: OnSafety - Lean Tecnologia | R\$ 4800,00 | 2 meses | |
| | Equipamento: Tablet Lenovo Tab M8 | R\$ 2000,00 | 1 mês | |

Fonte: Autor

Aplicação da Etapa 08: Construção de um cronograma de implementação na empresa

Nesta etapa um cronograma de implementação é desenvolvido, expondo as tarefas a serem realizadas, quem é responsável por cada uma delas e os prazos para sua conclusão.

O referido cronograma da empresa está estruturado da seguinte forma:

- Computação em nuvem
 - Etapas/duração: Contratação dos *softwares* / plataforma na nuvem: 2 meses
 - Capacitação e treinamento: 2 meses
 - Implementação e uso da tecnologia: 4 meses
 - Análise dos resultados: 1 mês

- Uso de drones
 - Etapas/duração: Aquisição dos equipamentos: 3 meses
 - Capacitação e treinamento: 2 meses
 - Implementação e uso da tecnologia: 3 meses
 - Análise dos resultados: 1 mês

- BIM

Etapas/duração: Aquisição dos *softwares* e atualização/aquisição de computadores: 5 meses

Capacitação e treinamento: 6 meses

Implementação e uso da tecnologia: 6 meses

Análise dos resultados: 1 mês

- Computação móvel

Etapas/duração: Aquisição dos aplicativos móveis: 1 mês

Capacitação e treinamento: 2 meses

Implementação e uso da tecnologia: 6 meses

Análise dos resultados: 1 mês

O quadro 26 mostra um cronograma definido em 24 meses com as áreas a serem implementadas, o setor responsável, atores envolvidos e as respectivas etapas para cada uma dessas áreas.

Quadro 26. Cronograma proposto de implementação do estudo de caso

| Área a ser implementada | Setor responsável / Atores envolvidos | Etapa | Mês | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|--|-------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | | | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
| Computação em nuvem | Setor de Orçamentos
Engenheiros civis,
Técnico de edificações | Contratação dos softwares / plataforma na nuvem | ----- | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Capacitação e treinamento | ----- | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Implementação e uso da tecnologia | ----- | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Análise dos resultados | ----- | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Drones | Gestão de Obras
Engenheiros civis,
Técnico de edificações,
Mestre de obras | Aquisição dos equipamentos | ----- | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Capacitação e treinamento | ----- | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Implementação e uso da tecnologia | ----- | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Análise dos resultados | ----- | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| BIM | Elaboração de projetos
Engenheiros civis,
Arquitetos, Técnico de edificações | Aquisição dos softwares e atualização dos computadores | ----- | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Capacitação e treinamento | ----- | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Implementação e uso da tecnologia | ----- | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Análise dos resultados | ----- | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Computação móvel | Gestão da SST
Engenheiros civis,
Técnico em Segurança do trabalho; Direção | Aquisição dos aplicativos móveis | ----- | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Capacitação e treinamento da ferramenta | ----- | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Implementação e uso da tecnologia | ----- | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Análise dos resultados | ----- | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Avaliação e melhoria contínua a partir dos resultados | | | ----- | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Fonte: Autor

Aplicação da Etapa 09: Implementação

Conforme indicações e diretrizes das etapas anteriores e do cronograma proposto para adoção do conjunto de soluções digitais, uso de drones, implantação do BIM, uso da computação móvel e computação na nuvem, na construtora, esta é a etapa que as ferramentas e soluções digitais são realmente implementadas.

Uma reunião com os atores envolvidos (equipe técnica e representantes da direção), definiu o mês inicial para início da implantação das tecnologias. A implementação efetiva das soluções abordadas na empresa foco deste trabalho, alvoreceu no início de 2023, com a contratação da plataforma em nuvem do OrçaFascio da empresa 3F Ltda.

A utilização da computação na nuvem se desenvolveu no setor de orçamentos da empresa. Através da contratação dos serviços da plataforma de orçamentos da empresa 3F Ltda – OrçaFascio, um poderoso *software* online que por meio de sua plataforma em nuvem pode ser acessado por qualquer dispositivo que tenha internet, dispensando quaisquer tipos de instalação. O *software* é executado na nuvem, não sendo instalados quaisquer programas nos desktops dos usuários, bem como os desenvolvedores não limitam os hardwares com configurações mínimas para execução. A plataforma também possui módulos incorporados como: acompanhamento de obras, diário de obra, compras, planejamento e medição de obra. A *startup* também oferece treinamentos online para uso da plataforma, o qual foi adotado para os treinamentos e capacitação por parte da equipe. O *software* de orçamentos foi adotado no setor de orçamentos da empresa, sendo usado pelos engenheiros e técnicos.

O uso da tecnologia BIM se dará com a utilização do *software* Revit da Autodesk (2023), para compatibilização dos projetos, em uma plataforma multidimensional, adicionando também ao *software* o plugin OrçaBIM da empresa 3F Ltda – OrçaFascio, obtendo resultados mais expressivos na combinação ao orçamento de obras.

O uso dos equipamentos de drone para monitoramento das obras, serviços onde há difícil acesso e inspeção em fachadas, será indicado a empresa, a aquisição de um modelo de porte intermediário, de longo alcance, duração de tempo de voo acima de 30 minutos e câmera de alta definição.

A aplicação da computação móvel para a área de gestão da SST se efetivará por uma ferramenta de solução *mobile* que facilita a integração, coleta e comunicação na área de Segurança do Trabalho. A equipe de engenharia, segurança do trabalho e da administração da empresa optaram pela adoção da plataforma *OnSafety* da Lean Tecnologia e Engenharia LTDA. Com a implementação dessa ferramenta será possível digitalizar a área de gestão da segurança e saúde dos trabalhadores na empresa. Processos mecânicos obsoletos serão substituídos por

um conjunto de soluções digitais, como: ficha de EPI's digital, emissão de relatórios de inspeção, documentação da Comissão Interna de Prevenção de Acidentes (CIPA), Controle de Registro para Funcionários, entre outros. O *software* permite que todos os envolvidos utilizem os mesmos *workflows* para monitorar o local de trabalho, treinamentos exigidos, o controle e entrega de EPI's, monitoramento da saúde, entre outros documentos e requisitos. Também permite o gerenciamento das auditorias da SST realizadas no ambiente de trabalho, garantindo mais efetividade no processo de tomada de decisão e acesso as informações e relatórios em diferentes dispositivos.

Aplicação da Etapa 10: Comunicação e engajamento

Chegando nessa fase (o projeto de implementação na construtora foco deste estudo está em andamento na Etapa 09) e durante todo o processo, é importante manter todos os envolvidos informados sobre o progresso do projeto. Isso envolverá a realização de reuniões regulares de atualização e o envio de relatórios de progresso. Isso ajudará a gerenciar expectativas, obter feedback, garantir que todos entendam o que está acontecendo e por quê, e mantê-los engajados e apoiando a mudança.

Aplicação da Etapa 11: Resultados, avaliação e melhoria contínua

No final de fevereiro de 2023, a empresa decidiu participar de dois processos licitatórios cujos objetos são reformas de prédios públicos e manutenção e pintura de postos de saúde do município de São Vicente Férrer-PE. Como parte integrante da proposta financeira que a empresa deve apresentar no dia de entrega das propostas na sede da Comissão Permanente de Licitação (CPL) da referida prefeitura, são os orçamentos sintético, orçamento analítico das composições de custo, composição do BDI, composição dos encargos sociais e cronograma físico-financeiro, todos esses elaborados por profissional técnico habilitado.

Sem o uso do *software* de orçamentos, após construção da planilha do orçamento sintético, o profissional deve iniciar a elaboração das composições de custo. A figura 8 abaixo mostra a tabela do Sistema Nacional de Pesquisas de Custos e Índices da Construção Civil – SINAPI, adotada para orçamentos de obras públicas.

Figura 8. Tabela analítica do SINAPI

| SINAPI - SISTEMA NACIONAL DE PESQUISA DE CUSTOS E ÍNDICES DA CONSTRUÇÃO CIVIL 1 | | | | | | 7 de 3968 | |
|---|---|---------|-----------|-------------|-------------|-------------------------------------|-------|
| PCI.818.01 - CUSTOS DE COMPOSIÇÕES ANALÍTICO | | | | | | DATA DE EMISSÃO:20/06/2023 18:20:19 | |
| ENCARGOS SOCIAIS SOBRE PREÇOS DA MÃO-DE-OBRA: 114,55% (HORA) 70,11% (MÊS) | | | | | | DATA REFERENCIA TECNICA: 20/06/2023 | |
| ABRANGENCIA: NACIONAL | | | | | | | |
| CÓDIGO | DESCRIÇÃO | UNIDADE | ORIG. | COEFICIENTE | PREÇO UNIT. | CUSTO TOTAL | PREÇO |
| VÍNCULO : CAIXA REFERENCIAL | | | | | | | |
| | EQUIPAMENTO | : | 4,05 | 17,2664952 | % | | |
| | MATERIAL | : | 4,69 | 19,9657240 | % | | |
| | MÃO DE OBRA | : | 14,76 | 62,7677808 | % | | |
| | TOTAL COMPOSIÇÃO | : | 23,50 | 100,0000000 | % | | |
| 97148 | ASSENTAMENTO DE TUBO DE FERRO FUNDIDO PARA REDE DE ÁGUA, DN 400 MM, JUNTA ELÁSTICA, INSTALADO EM LOCAL COM NÍVEL ALTO DE INTERFERÊNCIAS (NÃO INCLUI FORNECIMENTO). AF_11/2017 | M | | | | | |
| C | 5678 RETROSCAVADEIRA SOBRE RODAS COM CARREGADEIRA, TRACÇÃO 4X4, POTÊNCIA LÍQ. 8 CHP 8 HP, CAÇAMBA CARREG. CAP. MÍN. 1 M3, CAÇAMBA RETRO CAP. 0,26 M3, PESO OPE RACIONAL MÍN. 6.674 KG, PROFUNDIDADE ESCAVAÇÃO MÁX. 4,37 M - CHP DIURNO. A F_06/2014 | CR | 0,0211000 | 145,04 | | 3,06 | |
| C | 5679 RETROSCAVADEIRA SOBRE RODAS COM CARREGADEIRA, TRACÇÃO 4X4, POTÊNCIA LÍQ. 8 CHI 8 HP, CAÇAMBA CARREG. CAP. MÍN. 1 M3, CAÇAMBA RETRO CAP. 0,26 M3, PESO OPE RACIONAL MÍN. 6.674 KG, PROFUNDIDADE ESCAVAÇÃO MÁX. 4,37 M - CHI DIURNO. A F_06/2014 | CR | 0,1014000 | 67,83 | | 6,87 | |
| I | 20078 PASTA LUBRIFICANTE PARA TUBOS E CONEXOES COM JUNTA ELASTICA, EMBALAGEM DE UN *400* GR (USO EM PVC, AÇO, POLIETILENO E OUTROS) | UN | 0,0188000 | 23,81 | | 0,44 | |
| C | 88246 ASSENTADOR DE TUBOS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES | H | 0,3150000 | 29,68 | | 9,34 | |
| C | 88316 SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES | H | 0,3150000 | 20,42 | | 6,43 | |
| | EQUIPAMENTO | : | 4,41 | 16,9041201 | % | | |
| | MATERIAL | : | 5,25 | 20,1001155 | % | | |
| | MÃO DE OBRA | : | 16,48 | 62,9957644 | % | | |
| | TOTAL COMPOSIÇÃO | : | 26,14 | 100,0000000 | % | | |
| 97149 | ASSENTAMENTO DE TUBO DE FERRO FUNDIDO PARA REDE DE ÁGUA, DN 450 MM, JUNTA ELÁSTICA, INSTALADO EM LOCAL COM NÍVEL ALTO DE INTERFERÊNCIAS (NÃO INCLUI FORNECIMENTO). AF_11/2017 | M | | | | | |

Fonte: CAIXA, 2023

Para cada serviço orçado na planilha deve ser apresentado a respectiva composição dos custos de material e mão de obra do respectivo serviço. A figura 9 mostra parte do orçamento licitado pela prefeitura de um dos pleitos licitatórios.

Figura 9. Orçamento sintético licitado

| Item | Código | Banco | Descrição | Und | Quant. | Valor Unit (R\$) | Valor Unit com BDI (R\$) | Total (R\$) |
|-------|--------|--------|--|-----|--------|------------------|--------------------------|-------------|
| 1 | | | QUADRA | | | | | 46.816,10 |
| 1.1 | | | ESQUADRIAS | | | | | 1.242,58 |
| 1.1.1 | 90844 | SINAPI | KIT DE PORTA DE MADEIRA PARA PINTURA, SEMI-OCA (LEVE OU MÉDIA), PADRÃO MÉDIO, 90X210CM, ESPESSURA DE 3,5CM. ITENS INCLUSOS: DOBRADIÇAS, MONTAGEM E INSTALAÇÃO DO BATENTE, FECHADURA COM EXECUÇÃO DO FURO - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_12/2019 | UN | 1,00 | 1041,13 | 1.242,58 | 1.242,58 |
| 1.2 | | | PINTURA | | | | | 16.479,74 |
| 1.2.1 | 102504 | SINAPI | PINTURA DE DEMARCAÇÃO DE QUADRA POLIESPORTIVA COM TINTA ACRÍLICA, E = 5 CM, APLICAÇÃO MANUAL. AF_05/2021 | M | 506,20 | 9,17 | 10,94 | 5.537,82 |
| 1.2.2 | 100743 | SINAPI | PINTURA COM TINTA ALQUÍDICA DE ACABAMENTO (ESMALTE SINTÉTICO BRILHANTE) PULVERIZADA SOBRE PERFIL METALICO EXECUTADO EM FABRICA (POR DEMÃO). AF_01/2020_PE | m² | 203,50 | 10,13 | 12,09 | 2.460,31 |
| 1.2.3 | 88489 | SINAPI | APLICAÇÃO MANUAL DE PINTURA COM TINTA LÁTEX ACRÍLICA EM PAREDES, DUAS DEMÃOS. AF_06/2014 | m² | 457,23 | 15,55 | 18,55 | 8.481,61 |
| 1.3 | | | INSTALAÇÕES ELÉTRICAS | | | | | 16.439,27 |
| 1.3.1 | 93009 | SINAPI | ELETRODUTO RÍGIDO ROSCÁVEL, PVC, DN 60 MM (2"), PARA REDE ENTERRADA DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_12/2021 | M | 54,00 | 27,84 | 33,22 | 1.793,88 |
| 1.3.2 | 93020 | SINAPI | CURVA 90 GRAUS PARA ELETRODUTO, PVC, ROSCÁVEL, DN 60 MM (2"), PARA REDE ENTERRADA DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_12/2021 | UN | 6,00 | 29,45 | 35,14 | 210,84 |
| 1.3.3 | 12224 | ORSE | Quadro de distribuição de embutir, em chapa de aço, para até 16 disjuntores, com barramento, padrão DIN, exclusive disjuntores | un | 1,00 | 249,89 | 298,24 | 298,24 |
| 1.3.4 | 101893 | SINAPI | DISJUNTOR TRIPOLAR TIPO NEMA, CORRENTE NOMINAL DE 10 ATÉ 50A - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_10/2020 | UN | 1,00 | 115,47 | 137,81 | 137,81 |
| 1.3.5 | 101894 | SINAPI | DISJUNTOR TRIPOLAR TIPO NEMA, CORRENTE NOMINAL DE 60 ATÉ 100A - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_10/2020 | UN | 1,00 | 188,65 | 225,15 | 225,15 |
| 1.3.6 | 93654 | SINAPI | DISJUNTOR MONOPOLAR TIPO DIN, CORRENTE NOMINAL DE 16A - | UN | 4,00 | 15,02 | 17,92 | 71,68 |

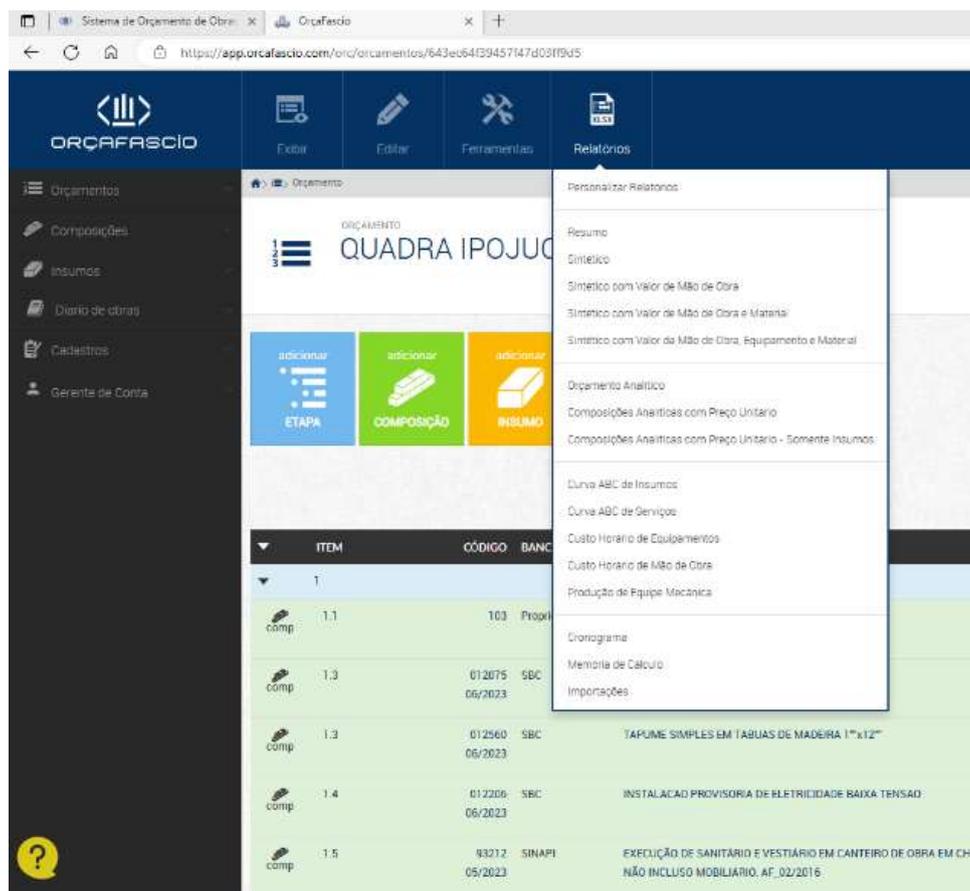
Fonte: Autor

A construção das composições se dá agrupando numa planilha digital todos os itens constantes no serviço da tabela analítica do SINAPI, ajustando os coeficientes e preços de insumos e composições auxiliares de cada item. Essa rotina é morosa e propensa a erros.

Uma análise feita na empresa do tempo efetivo de trabalho tomando como base a elaboração dos dois orçamentos (analítico e sintético) das propostas financeiras. Um dos profissionais sem uso da plataforma em nuvem, elaborou os orçamentos sintético e analítico da obra de Finalização da Construção da Quadra Padrão FNDE Anexa à Escola Municipal Dr. Manoel Borba do município de São Vicente Férrer-PE, o orçamento base contém 40 itens, relacionados a esquadrias, pinturas, instalações elétricas e outros serviços complementares. O tempo gasto cronometrado para elaboração do orçamento sintético foi de 35 minutos e a elaboração do orçamento analítico foi de 2 horas e 25 minutos.

O segundo profissional, autor desta pesquisa, com uso da plataforma em nuvem do OrçaFascio, elaborou os mesmos orçamentos sintético e analítico da obra de Finalização da Construção da Quadra Padrão FNDE Anexa à Escola Municipal Dr. Manoel Borba do município de São Vicente Férrer-PE. O tempo gasto para elaboração do orçamento sintético foi de 30 minutos e a elaboração do orçamento analítico foi de 10 minutos. A elaboração dos mesmos orçamentos, primeiramente com o uso do *Microsoft Excel* e depois com o uso da plataforma do OrçaFascio obteve uma redução de 2 horas e 20 minutos. O curto tempo para elaboração dos orçamentos analíticos no OrçaFascio se dá devido a integração dos bancos de dados e a automatização das tarefas, bem como da criação de relatórios a partir dos serviços constantes no orçamento sintético. A figura 10 mostra a tela do *software* do orçamento sintético e as possibilidades de exportação dos diversos relatórios.

Figura 10. Tela do OrçaFascio



Fonte: Autor

Após a implementação das soluções digitais na empresa, será avaliado o sucesso do projeto. Uma medição de indicadores de desempenho como redução de custos e de produtividade, serão realizados na empresa, após análise aprofundada dos resultados e a identificação de áreas que podem ser melhoradas. Será um processo contínuo, pois a empresa deve sempre estar buscando maneiras de otimizar o uso de suas tecnologias e adaptar-se às mudanças nas demandas do mercado, para maximizar o valor de sua adoção à I4.0.

4.5 DISCUSSÕES DO ESTUDO DE CASO

Diante da restrição de tempo desta pesquisa, do dispêndio financeiro por parte da empresa para investimento e outras limitações, a área da construção 4.0 que foi implementada inicialmente na empresa em foco foi computação em nuvem no setor de orçamentos, atualmente em uso pelos técnicos de engenharia da construtora.

A implementação da computação em nuvem no setor de orçamentos da empresa mostrou de acordo com levantamentos e dados iniciais, benefícios como a redução do tempo

de elaboração de orçamentos sintéticos e analíticos. A redução de 2 horas e 20 minutos, representa uma diminuição de 77,78% no tempo total do serviço técnico. A redução no tempo em determinada atividade do profissional, resulta em atenção do mesmo a desempenhar seu trabalho em outras áreas da empresa, como o gerenciamento das obras.

Esses resultados corroboram os argumentos de Meijer e Brown (2014) que dizem que a redução de custos é considerada um dos principais benefícios da computação em nuvem, pois ao não adotar esse modelo, as organizações teriam que avaliar os investimentos necessários para adquirir recursos e instalá-los, o que pode ser uma análise complexa e dispendiosa. Dai *et al.* (2022) também aponta que a nuvem garante fornecer a funcionalidade dos serviços de TI atuais, reduzindo drasticamente os custos iniciais de computação que impedem que várias organizações utilizem inúmeras instalações de TI de ponta. No mesmo sentido XU *et al.* (2018) dizem que a computação em nuvem na Indústria 4.0 melhora a entrega do serviço no prazo, resolvendo vários problemas baseados em rede, como atraso, despesas gerais, tremulação, custo computacional e complexidade, porque os dados são armazenados nas nuvens.

Dessa forma e a partir do produto gerado com essa pesquisa, proposta de metodologia para implantação de tecnologias e soluções digitais da I4.0 em construtoras de pequeno porte, para este estudo de caso e apoiado nos resultados parciais, o produto mostrou-se factível para a adoção e aplicação na empresa estudada.

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Neste capítulo, abordam-se as conclusões finais deste trabalho, abrangendo os resultados alcançados e oferecendo sugestões para pesquisas futuras. Exploram-se os aspectos fundamentais discutidos no estudo e suas implicações, além de ressaltar as contribuições e limitações do trabalho. Outrossim, são apresentadas diretrizes para futuras pesquisas, com o objetivo de ampliar e aprofundar o entendimento do tema em questão.

5.1 CONCLUSÕES

A literatura aqui abordada confirma que embora de forma mais lenta, a indústria da CC vem, cada vez mais, procurando o apoio de inovações tecnológicas. Um setor anteriormente marcado pela tradição e resistência à mudança, agora reconhece o valor da tecnologia como um diferencial competitivo significativo. Assim como o setor de CC não tem se mantido atualizado com as oportunidades tecnológicas capazes de melhorar a produção e combater a estagnação da produtividade da mão de obra, a empresa alvo do estudo, uma construtora de pequeno porte, não utilizava soluções digitais nos seus processos construtivos, gerenciais e planejamento.

As empresas de pequeno porte têm dificuldade competitiva, pela falta de uma ferramenta que auxilie na introdução e na implementação dessas ferramentas e soluções digitais em suas organizações. A partir dessa pesquisa foi possível elaborar uma proposta de metodologia de implantação de ferramentas e soluções digitais da Construção 4.0 com um sequenciamento de 11 (onze) etapas para implementação dessas tecnologias, aplicáveis em empresas de pequeno porte no setor da CC. As etapas de implementação foram criadas a partir de diretrizes iniciais trazidas por autores da literatura, o que possibilitou gerar uma proposta de metodologia que oferece direcionamentos a essa parcela do mercado e pode mudar a concepção de como as organizações de pequeno porte lidam com o tema e iniciem suas mudanças e adoções de soluções digitais.

A metodologia aqui proposta nesta pesquisa traz um impacto social expressivo haja vista que além de trazer a competitividade de mercado e relevância a construtora deste estudo, pode ser adaptado para outras construtoras de pequeno porte, adotando as 11 (onze) etapas de implantação aqui propostas. As empresas não implementam essas soluções digitais, além de outros fatores, porque não dispõem de uma metodologia para essa adoção. De mesmo modo também enternecerá economicamente impactando a organização com os benefícios da redução

do tempo para executar operações e atividades na empresa como elaboração de orçamentos de obra, como mostra os resultados parciais, e a gestão da saúde e segurança do trabalhador.

Com a implementação dessas ferramentas e soluções na empresa, obteve-se resultados positivos iniciais da introdução da computação em nuvem no setor de orçamentos gerando aumento na produtividade, redução de tempo de produção de orçamentos e diminuição de atrasos decorrentes da falta de atualização das bases usadas, incentivando a adoção de outras tecnologias da Indústria 4.0 na empresa, como o cronograma propõe. O processo de implantação das tecnologias da I4.0 deve fornecer *insights* valiosos que podem ser compartilhados com outras pequenas e médias empresas do setor da construção civil, promovendo assim a digitalização mais ampla do setor. Espera-se que a implementação bem-sucedida das tecnologias da Construção 4.0 na empresa estudada possa servir como um exemplo e encorajar outras empresas semelhantes a seguir o mesmo caminho.

O desenvolvimento dessa metodologia de implantação de ferramentas e soluções digitais no contexto da construção 4.0, factíveis de implantação em uma empresa de pequeno porte da indústria da construção civil, como o produto gerado neste trabalho, impactará econômico e socialmente a empresa estudada como os benefícios traduzidos pelos investimentos como o aumento da eficiência operacional, melhoria na tomada de decisões, aperfeiçoamento no gerenciamento de projetos e capacitação e desenvolvimento profissional dos colaboradores.

Durante esta pesquisa também foram identificadas algumas lacunas como a inexistência na literatura pesquisada de estudos de casos semelhantes com a aplicação das áreas da I4.0 aqui abordadas, em construtoras de pequeno porte. A aplicação da metodologia abordada e seus resultados são válidos para o estudo de caso realizado, mas a proposta pode ser aplicada a outras empresas de pequeno porte da CC.

O conhecimento adquirido ao longo desta pesquisa será compartilhado para garantir sua máxima eficácia e utilização. Inicialmente a forma de transferência será a própria dissertação, que será tornada pública para acesso de outras empresas do setor, estudantes, acadêmicos e interessados no tema. Adiante o conhecimento adquirido será aplicado em sua íntegra na própria empresa objeto de estudo, permitindo a esta não só melhorar seus próprios processos e resultados, mas também servir de exemplo para outras empresas do setor.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como visto, a metodologia proposta nesta pesquisa tem um grande potencial para que outras empresas de pequeno porte da indústria da construção, seguindo as 11 (onze) etapas de implantação propostas, possam adotar em suas organizações as tecnologias e soluções digitais da I4.0.

O trabalho apresenta algumas limitações, que podem ser abordadas em futuras pesquisas. Uma dessas limitações é o fato de que o estudo foi realizado com uma única empresa. Para aumentar a generalização dos resultados, seria interessante replicar o estudo com um número maior de empresas. Outra limitação do estudo é o fato de que ele não avaliou todos os resultados da implantação das tecnologias digitais em termos de impacto financeiro, haja vista o curto espaço de tempo da pesquisa. Uma avaliação futura é oportuna, apresentando os benefícios financeiros das tecnologias digitais, para determinar o retorno sobre o investimento (ROI) da implantação dessas tecnologias.

À vista de tudo, pode-se citar algumas sugestões para trabalhos futuros, como:

- A continuidade deste trabalho com a análise geral da implementação de todas as áreas da I4.0 propostas na construtora;
- Exploração de outras áreas da I4.0 e ampliação das soluções digitais, ferramentas ou tecnologias que não puderam ser implantadas ou propostas na empresa estudada;
- Identificação das possíveis oportunidades de melhoria na proposta de metodologia de implantação de ferramentas e soluções digitais da construção 4.0.

REFERÊNCIAS

- ABDULLAH, Yahya S.; AL-ALWAN, Hoda AS. Smart material systems and adaptiveness in architecture. **Ain Shams Engineering Journal**, v. 10, n. 3, p. 623-638, 2019.
- ABRUZZESE, D.; MICHELETTI, A.; TIERO, A.; COSENTINO, M.; FORCONI, D.; GRIZZI, G.; ABIUSO, P. IoT sensors for modern structural health monitoring. A new frontier. **Procedia Structural Integrity**, v. 25, p. 378-385, 2020.
- ACETO, G.; PERSICO, V.; PESCAPÉ, A. Industry 4.0 and health: Internet of things, big data, and cloud computing for healthcare 4.0. **Journal of Industrial Information Integration**, v. 18, p. 100129, 2020.
- ADEKUNLE, S. A.; AIGBAVBOA, C. O.; EJOHWOMU, O.; ADEKUNLE, E. A.; THWALA, W. D. Digital transformation in the construction industry: A bibliometric review. **Journal of Engineering, Design and Technology**, 2021.
- ADELSTEIN, F.; GUPTA, S. K.; RICHARD, G.; SCHWIEBERT, L. **Fundamentals of mobile and pervasive computing**. New York: McGraw-Hill, 2005.
- ADHIKARI, S.; JOYNER, G.; MOSIER, R.; LANGAR, S. Impacts of Covid-19 on Construction Industry 4.0 adoption and implementation within Southeastern US-An exploratory study. **EPiC Series in Built Environment**, v. 3, p. 1-9, 2022.
- AGARWAL, R.; CHANDRASEKARAN, S.; SRIDHAR, M. Imagining construction's digital future. **McKinsey & Company**, v. 24, n. 06, 2016.
- AGEYEVA, T.; HORVÁTH, S.; KOVÁCS, J. G. In-mold sensors for injection molding: On the way to industry 4.0. **Sensors**, v. 19, n. 16, p. 3551, 2019.
- AGRAWAL, P.; NARAIN, R.; ULLAH, . Analysis of barriers in implementation of digital transformation of supply chain using interpretive structural modelling approach. **Journal of Modelling in Management**, v. 15, n. 1, p. 297-317, 2020.
- AICHHOLZER, G.; RHOMBERG, W.; GUDOWSKY, N.; SAURWEIN, F.; WEBER, M. Industry 4.0–Background Paper on the pilot project" Industry 4.0: Foresight & Technology Assessment on the social dimension of the next industrial revolution". 2015.

ALDABOUBI, M. K. F. **Big Data In Single Player Games**. The University of Texas at Arlington, 2020.

ALI, A. H.; KINEBER, A. F.; ELYAMANY, A.; IBRAHIM, A. H.; DAOUD, A. O. Modelling the role of modular Construction's critical success factors in the overall sustainable success of Egyptian housing projects. **Journal of Building Engineering**, p. 106467, 2023.

ALI, A. M.; MOHAMED, E. A.; YACOUT, S.; SHABAN, Y. Cloud computing based unsupervised fault diagnosis system in the context of Industry 4.0. **Gestão & Produção**, v. 27, 2020.

ALI, A. M.; YACOUT, S.; RABEIH, E.; SHABAN, Y. A cyber process control system based on pattern recognition and cloud computing. **Gestão & Produção**, v. 29, 2022.

ALI, F.; EL-SAPPAGH, S.; ISLAM, S. R.; ALI, A.; ATTIQUE, M.; IMRAN, M.; KWAK, K. S. An intelligent healthcare monitoring framework using wearable sensors and social networking data. **Future Generation Computer Systems**, v. 114, p. 23-43, 2021.

AMAN, A. H. M.; YADEGARIDEHKORDI, E.; ATTARBASHI, Z. S.; HASSAN, R.; PARK, Y. J. A survey on trend and classification of internet of things reviews. **Ieee Access**, v. 8, p. 111763-111782, 2020.

AMORIM, L. S. G.; PACHECO, D. W. S.; FREITAS, J. E. O.; SILVA, S.V. M.; CARVALHO, Z. V.; OLIVEIRA, H. H. N. A transformação digital do setor produtivo da construção civil. **Brazilian Journal of Development**, 2021.

ANDRADE, M.; ASSIS, J.; BROCHARDT, M. O uso de visualizadores portáteis como fator de aumento na produtividade da construção civil. **VII Encontro de Tecnologia de Informação e Comunicação na Construção (TIC 2015)**, Recife, 2015.

AROWOIYA, V. A.; OKE, A. E.; AKANNI, P. O.; KWOFIE, T. E.; ENIH, P. I. AROWOIYA, Victor Adetunji et al. Augmented reality for construction revolution—analysis of critical success factors. **International Journal of Construction Management**, v. 23, n. 11, p. 1867-1874, 2023.

ASGARI, Z.; RAHIMIAN, F. P. Advanced virtual reality applications and intelligent agents for construction process optimisation and defect prevention. **Procedia engineering**, v. 196, p. 1130-1137, 2017.

AUTODESK, 2023. Disponível em: <<https://www.autodesk.com>>. Acesso em: 15 junho de 2023.

AVENDAÑO, J. I.; ZLATANOVA, S.; DOMINGO, A.; PÉREZ, P.; CORREA, C. Utilization of BIM in steel building projects: A systematic literature review. **Buildings**, v. 12, n. 6, p. 713, 2022.

AVINTE, E. F.; NASCIMENTO, M. H. R.; NASCIMENTO, A. S. Computação em Nuvem: Reduzindo Gastos em Pequenas e Médias Empresas. **ITEGAM-JETIA**, v. 5, n. 19, p. 41-47, 2019.

AZADI, M.; MOGHADDAS, Z.; CHENG, T. C. E.; FARZIPOOR SAEN, R. Assessing the sustainability of cloud computing service providers for Industry 4.0: a state-of-the-art analytical approach. **International Journal of Production Research**, p. 1-18, 2021.

AZHAR, S. Building information modeling (BIM): trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry, **Leadership and Management in Engineering** v. 11, n. 3, p. 241-252, 2011.

BALASUBRAMANIAN, S.; SHUKLA, V.; ISLAM, N.; MANGHAT, S. Construction industry 4.0 and sustainability: an enabling framework. **IEEE transactions on engineering management**, 2021.

BALLESTEROS, R. D.; LORDSLEEM JUNIOR, A. C. Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) para inspeção de manifestações patológicas em fachadas com revestimento cerâmico. **Ambiente Construído**, v. 21, p. 119-137, 2020.

BARACHO, R.; CUNHA, I.; PEREIRA JUNIOR, M. L. Information modeling and information retrieval for the Internet of things (IoT) in Buildings. **Journal of Systemics, Cybernetics and Informatics**, v. 16, n. 2, p. 85-91, 2018.

BELLO, S. A.; OYEDELE, L. O.; AKINADE, O. O.; BILAL, M.; DELGADO, J. M. D.; AKANBI, L. A.; OWOLABI, H. A. Cloud computing in construction industry: Use cases, benefits and challenges. **Automation in Construction**, v. 122, p. 103441, 2021.

Big Data na construção civil. **INFRAROI**, 2021. BRANCO, L. F.; IGARASHI, M. O. Disponível em: <http://infraroi.com.br/2021/10/26/artigo-big-data-na-construcao-civil/>. Acesso em: 29 de março de 2023.

BILAL, M.; OYEDELE, L. O.; QADIR, J.; MUNIR, K.; AJAYI, S. O.; AKINADE, O. O.; PASHA, M. Big Data in the construction industry: A review of present status, opportunities, and future trends. **Advanced engineering informatics**, v. 30, n. 3, p. 500-521, 2016.

BORGES, R. M. S.; VIEIRA, B. M. P.; CAMPOS, V. R.; NETO, J. D. P. B. Caracterização da produção científica sobre a internet das coisas na construção civil e seus impactos em produtividade: análise de trabalhos publicados

em âmbito internacional. **ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, v. 18, n. 1, p. 1-8, 2020.

BORGES, R. C.; SOUSA, D. F. M.; DOS SANTOS, J. M. FRIGMOBILE: APLICATIVO MÓVEL DIRECIONADO AO CONTROLE COMERCIAL E DE ESTOQUES EM REDES FRIGORÍFICAS. In: **Colloquium Exactarum. ISSN: 2178-8332**. 2015. p. 62-75.

BORTOLINI, R.; FORMOSO, C. T.; VIANA, D. D. Site logistics planning and control for engineer-to-order prefabricated building systems using BIM 4D modeling. **Automation in Construction**, v. 98, p. 248-264, 2019.

BORTOLINI, R.; SHIGAKI, J. S.; FORMOSO, C. T. Site logistics planning and control using 4D modeling: a study in a lean car factory building site. In: **23rd Annual Conference of the International Group for Lean Construction**. Perth, Australia, 2015. p. 361-370.

BRYNJOLFSSON, E.; HITT, L. M. Beyond computation: Information technology, organizational transformation and business performance. **Journal of Economic perspectives**, v. 14, n. 4, p. 23-48, 2000.

BURGESS, G.; JONES, M.; MUIR, K. BIM in the UK house building industry: opportunities and barriers to adoption. **University of Cambridge: Cambridge, UK**, 2018.

CALDART, C. W.; SCHEER, S. Construction site design planning using 4D BIM modeling. **Gestão & Produção**, v. 29, 2022.

CALITZ, S.; WIUM, J. A. A proposal to facilitate BIM implementation across the South African construction industry. **Journal of the South African Institution of Civil Engineering**, v. 64, n. 4, p. 29-37, 2022.

CAO, D.; LI, H.; WANG, G. Impacts of isomorphic pressures on BIM adoption in construction projects. **Journal of construction engineering and management**, v. 140, n. 12, p. 04014056, 2014.

CAO, J.; ZHAO, P.; LIU, G. Optimizing the production process of modular construction using an assembly line-integrated supermarket. **Automation in Construction**, v. 142, p. 104495, 2022.

CÁRDENAS-ROBLEDO, L. A.; HERNÁNDEZ-URIBE, Ó.; RETA, C.; CANTORAL-CEBALLOS, J. A. Extended reality applications in industry 4.0.-A systematic literature review. **Telematics and Informatics**, p. 101863, 2022.

CAUCHICK MIGUEL, P.A. (org). **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operação**. 2ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

CAVALCANTI, V. Y. S. De L.; SOUZA, G. H. De; SODRÉ, M. A. C.; ABREU, M. S. D. De; MACIEL, T. Da S.; SILVA, J. M. De A. Indústria 4.0: desafios e perspectivas na construção civil. **Revista Campo do Saber**, v. 4, n. 4, 2018.

CHEN, C. L., LIN, Y. C., CHEN, W. H., CHAO, C. F., PANDIA, H. Role of government to enhance digital transformation in small service business. **Sustainability**, v. 13, n. 3, p. 1028, 2021.

CHEN, G.; LI, H.; LIU, M.; HSIANG, S. M.; JARVAMARDI, A. Knowing what is going on—a smart contract for modular construction. **Canadian Journal of Civil Engineering**, v. 50, n. 3, p. 210-223, 2022.

CHEN, Y.; Lu, Y.; BULYSHEVA, L.; KATAEV, M. Y. Applications of blockchain in industry 4.0: A review. **Information Systems Frontiers**, p. 1-15, 2022.

CHEN, Y.; WANG, X.; LIU, Z.; CUI, J.; OSMANI, M.; DEMIAN, P. Exploring Building Information Modeling (BIM) and Internet of Things (IoT) Integration for Sustainable Building. **Buildings**, v. 13, n. 2, p. 288, 2023.

COELHO, F. G. F.; BRACARENSE, A. Q.; LIMA II, E. J.; ARIAS, A. R.; ANTONELLO, M. G.; CORRADI, D. R. Proposta para o Uso de Robôs Cooperativos na Manufatura Aditiva Baseada no Processo GMAW-P. **Soldagem & Inspeção**, v. 26, 2021.

CUPERSCHMID, A. R. M.; GRACHET, M. G.; FABRÍCIO, M. M. Realidade Aumentada como auxílio à montagem de parede em wood-frame. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 6, n. 4, p. 266-276, 2015.

CYRINO, G. F.; BARRETO Jr, C. L.; MATTIOLI, L. R.; CARDOSO, A.; LAMOUNIER Jr, E. A.; LIMA, G. F.; RAMOS, D. S. An Intuitive VR-based Environment for Monitoring and Control of Electrical Power Substations. **Procedia Computer Science**, v. 201, p. 551-558, 2022.

DAI, X.; XIAO, Z.; JIANG, H.; ALAZAB, M.; LUI, J. C.; MIN, G.; LIU, J. Task offloading for cloud-assisted fog computing with dynamic service caching in enterprise management systems. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, v. 19, n. 1, p. 662-672, 2022.

DALENOGARE, L. S.; BENITEZ, G. B.; AYALA, N. F.; FRANK, A. G. The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance. **International Journal of production economics**, v. 204, p. 383-394, 2018.

DALENOGARE, L. S.; BENITEZ, G. B.; AYALA, N. F.; FRANK, A. G. The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance. **International Journal of production economics**, v. 204, p. 383-394, 2018.

DARDOURI, S.; BUHAMDAN, S.; AL BALKHY, W.; DAKHLI, Z.; DANIEL, T.; LAFHAJ, Z. RFID platform for construction materials management. **International Journal of Construction Management**, p. 1-11, 2022.

DARKO, A.; CHAN, A. P.; ADABRE, M. A.; EDWARDS, D. J.; HOSSEINI, M. R.; AMEYAW, E. E. Artificial intelligence in the AEC industry: Scientometric analysis and visualization of research activities. **Automation in Construction**, v. 112, p. 103081, 2020.

DEVISREE, G.; RUPA, C.; GAYATHRI, U.; KUMAR, H. C. A Cloud based Mobile Application to Hire Unskilled Workers. In: **2022 IEEE International Conference on Current Development in Engineering and Technology (CCET)**. IEEE, 2022. p. 1-6.

DOLLA, T.; DELHI, V. S. K. Strategies For Digital Transformation In Construction Projects: Stakeholders' perceptions and Actor Dynamics For Industry 4.0. **Journal of Information Technology in Construction (ITcon)**, v. 28, n. 8, p. 151-175, 2023.

DOS SANTOS, W. R.; MOTTA, A. D. A.; ZANLUCAS, C. C. Proposta de integração de projetos com a utilização da ferramenta BIM: estudo de caso em uma residência de alto padrão. **Revista Técnico-Científica**, n. 26, 2021.

DUNLEAVY, M. Design principles for augmented reality learning. **TechTrends**, v. 58, n. 1, p. 28-34, 2014.

EDIRISINGHE, R. Digital skin of the construction site: Smart sensor technologies towards the future smart construction site. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 26, n. 2, p. 184-223, 2019.

EL JAZZAR, M.; SCHRANZ, C.; URBAN, H.; NASSEREDDINE, H. Integrating Construction 4.0 Technologies: A Four-Layer Implementation Plan. **Frontiers in Built Environment**, p. 144, 2021.

ELAZHARY, H. Internet of Things (IoT), mobile cloud, cloudlet, mobile IoT, IoT cloud, fog, mobile edge, and edge emerging computing paradigms: Disambiguation and research directions. **Journal of network and computer applications**, v. 128, p. 105-140, 2019.

ELGHAISH, F.; HOSSEINI, M. R.; MATARNEH, S.; TALEBI, S., Wu, S.; MARTEK, I.; GHODRATI, N. Blockchain and the 'Internet of Things' for the construction industry: research trends and opportunities. **Automation in construction**, v. 132, p. 103942, 2021.

EL-SAYEGH, S.; ROMDHANE, L.; MANJIKIAN, S. A critical review of 3D printing in construction: Benefits, challenges, and risks. **Archives of Civil and Mechanical Engineering**, v. 20, p. 1-25, 2020.

EMARA, M. S. Toward a suggested proposed model for the use of building information modeling (BIM) in the implementation phase for landscaping. **Ain Shams Engineering Journal**, v. 13, n. 2, p. 101566, 2022.

ERNSTSEN, S. N.; WHYTE, J.; THUESEN, C.; MAIER, A. How innovation champions frame the future: Three visions for digital transformation of construction. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 147, n. 1, p. 05020022, 2021.

FALORCA, J. G. F.; LANZINHA, J. C. G. A utilização de drones como ferramenta tecnológica emergente para a inspeção técnica da envolvente de edifícios: revisão e ensaio de campo. In: **Congresso Construção**. 2018.

FENG, J.; YANG, L.; HOXHA, E.; JIANG, B.; XIAO, J. Robotic Inspection of Underground Utilities for Construction Survey Using a Ground Penetrating Radar. **Journal of Computing in Civil Engineering**, v. 37, n. 1, p. 04022049, 2023.

FIGUEREDO, A. M.; SOUZA, S. R. G. Como elaborar projetos, monografias, dissertações e teses: da redação à apresentação do trabalho final. **Rio de Janeiro: Lúmen Júris**, 2005.

FILHO, M. F. **Internet das Coisas**. Universidade do Sul de Santa Catarina – Unisul, Livro Digital CDD (21. ed.) 004.678 (2016).

FISHER, T. Welcome to the Third Industrial Revolution: The Mass-Customisation of Architecture, Practice and Education. **Architectural design**, v. 85, n. 4, p. 40-45, 2015.

GARDNER, L. Metal additive manufacturing in structural engineering—review, advances, opportunities and outlook. In: **Structures**. Elsevier, 2023. p. 2178-2193.

German, P. *Evaluation of training needs for Building Information Modeling (BIM)*. ProQuest, UMI Dissertation Publishing, 2012

GHARBIA, M.; CHANG-RICHARDS, A., LU, Y.; ZHONG, R. Y.; LI, H. Robotic technologies for on-site building construction: A systematic review. **Journal of Building Engineering**, v. 32, p. 101584, 2020.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6ed. São Paulo: Atlas, 2017

GONG, J.; YU, Y.; KRISHNAMOORTHY, R.; RODA, A. Real-time tracking of concrete vibration effort for intelligent concrete consolidation. **Automation in Construction**, v. 54, p. 12-24, 2015.

GOUVEIA, A, A.; DOS SANTOS, J, P.; DOS SANTOS, P, N.; LEITE, Y, G, S. **Tópicos em Construção Civil – Tecnologia, Inovação e Metodologias Aplicadas. Capítulo 7: Inovação Tecnológica na Construção Civil – Utilização de drone para gerenciamento de obra**. Editora Poisson. 1ª Edição, 2021.

HALLIN, A.; LINDELL, E.; JONSSON, B.; UHLIN, A. Digital transformation and power relations. Interpretative repertoires of digitalization in the Swedish steel industry. **Scandinavian Journal of Management**, v. 38, n. 1, p. 101183, 2022.

HARAS, M.; SKOTNICKI, T. Thermoelectricity for IoT - A review. **Nano Energy**, v. 54, p. 461 - 476, 2018.

HEISKANEN, A. The technology of trust: How the Internet of Things and blockchain could usher in a new era of construction productivity. **Construction Research And Innovation**, v. 8, n. 2, p. 66-70, 2017.

HENG, L. I.; HONG-YU, L. I. Applications of BIM in Construction Engineering in China: A Review. In: **E3S Web of Conferences**. EDP Sciences, 2020. p. 01007.

HOU, L.; WANG, X.; TRUIJENS, M. Using augmented reality to facilitate piping assembly: an experiment-based evaluation. **Journal of Computing in Civil Engineering**, v. 29, n. 1, p. 05014007, 2015.

HUANG, H.; YANG, J.; FANG, X.; JIANG, H.; XIE, L. VariFi: Variational Inference for Indoor Pedestrian Localization and Tracking Using IMU and WiFi RSS. **IEEE Internet of Things Journal**, 2022.

HUANG, L.; DING, L.; ZHOU, J.; CHEN, S.; CHEN, F.; ZHAO, C.; LIU, G. L. One-step rapid quantification of SARS-CoV-2 virus particles via low-cost nanoplasmonic sensors in generic microplate reader and point-of-care device. **Biosensors and Bioelectronics**, v. 171, p. 112685, 2021.

HUSSEIN, H. A. A. Integrating augmented reality technologies into architectural education: application to the course of landscape design at Port Said University. **Smart and Sustainable Built Environment**, n. ahead-of-print, 2022.

Informativo Econômico 01.09.2022. **CBIC**, 2022. Disponível em: < <https://cbic.org.br/wp-content/uploads/2022/09/informativo-economico-pib-2-tri-2022.pdf>>. Acesso em: 01 julho de 2023.

JACOB-LOYOLA, N.; MUÑOZ-LA RIVERA, F.; HERRERA, R. F.; ATENCIO, E. Unmanned aerial vehicles (UAVs) for physical progress monitoring of construction. **Sensors**, v. 21, n. 12, p. 4227, 2021.

JAYASHREE, S.; REZA, M. N. H.; MALARVIZHI, C. A. N.; GUNASEKARAN, A.; RAUF, M. A. Testing an adoption model for Industry 4.0 and sustainability: A Malaysian scenario. **Sustainable Production and Consumption**, v. 31, p. 313-330, 2022.

JIA, M.; KOMEILY, A.; WANG, Y.; SRINIVASAN, R. S. Adopting Internet of Things for the development of smart buildings: A review of enabling technologies and applications. **Automation in Construction**, v. 101, p. 111-126, 2019.

JOVANE, F.; YOSHIKAWA, H.; ALTING, L.; BOER, C. R.; WESTKAMPER, E.; WILLIAMS, D.; PACI, A. M. The incoming global technological and industrial revolution towards competitive sustainable manufacturing. **CIRP annals**, v. 57, n. 2, p. 641-659, 2008.

KAMBLE, S. S.; GUNASEKARAN, A.; GAWANKAR, S. A. Sustainable Industry 4.0 framework: A systematic literature review identifying the current trends and future perspectives. **Process safety and environmental protection**, v. 117, p. 408-425, 2018.

KHAHRO, S. H.; HASSAN, S.; ZAINUN, N. Y. B.; JAVED, Y. Digital transformation and e-commerce in construction industry: A prospective assessment. **Academy of Strategic Management Journal**, v. 20, n. 1, p. 1-8, 2021.

KHANAM, S.; TANWEER, S.; KHALID, S.; ROSACI, D. Artificial intelligence surpassing human intelligence: factual or hoax. **The Computer Journal**, v. 64, n. 12, p. 1832-1839, 2019.

KIM, D.; LEE, S.; KAMAT, V. R. Proximity prediction of mobile objects to prevent contact-driven accidents in co-robotic construction. **Journal of Computing in Civil Engineering**, v. 34, n. 4, p. 04020022, 2020.

KIM, Y. S.; OH, S., W.; CHO, Y. K.; SEO, J. W. A PDA and wireless web-integrated system for quality inspection and defect management of apartment housing projects. **Automation in construction**, v. 17, n. 2, p. 163-179, 2008.

KIM, Y.; KIM, H.; MURPHY, R.; LEE, S.; AHN, C. R. Delegation or collaboration: Understanding different construction stakeholders' perceptions of robotization. **Journal of Management in Engineering**, v. 38, n. 1, p. 04021084, 2022.

KIRNER, C.; KIRNER, T. G. Evolução e tendências da Realidade Virtual e da Realidade Aumentada. **Realidade Virtual e Aumentada: Aplicações e Tendências. Cap**, v. 1, p. 10-25, 2011.

KOHNKE, O.; REICHE, S.; BALLA, E. (2016), **Organizational Change Management: In Business Transformation Management Methodology**, Routledge, New York, NY.

LASI, H. *et al.* Industry 4.0. **Business & information systems engineering**, v. 6, p. 239-242, 2014.

LEE, I.; LEE, K. The Internet of Things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises. **Business horizons**, v. 58, n. 4, p. 431-440, 2015.

LEE, W.; LIN; K. Y.; SETO, E.; MIGLIACCIO, G. C. Wearable sensors for monitoring on-duty and off-duty worker physiological status and activities in construction. **Automation in Construction**, v. 83, p. 341-353, 2017.

LI, B. H.; HOU, B. C.; YU, W. T.; LU, X. B.; YANG, C. W. Applications of artificial intelligence in intelligent manufacturing: a review. **Frontiers of Information Technology & Electronic Engineering**, v. 18, p. 86-96, 2017.

LI, M.; FENG, X.; HAN, Y.; LIU, X. Mobile augmented reality-based visualization framework for lifecycle O&M support of urban underground pipe networks. **Tunnelling and Underground Space Technology**, v. 136, p. 105069, 2023.

LIANG, C. J.; WANG, X.; KAMAT, V. R.; MENASSA, C. C. Human-robot collaboration in construction: Classification and research trends. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 147, n. 10, p. 03121006, 2021.

LIM, Y. W.; LING, P. C.; TAN, C. S.; CHONG, H. Y.; THURAIRAJAH, A. Planning and coordination of modular construction. **Automation in Construction**, v. 141, p. 104455, 2022.

LOUIS, J.; DUNSTON, P. S. Integrating IoT into operational workflows for real-time and automated decision-making in repetitive construction operations. **Automation in Construction**, v. 94, p. 317-327, 2018.

MAHALINGAM, A.; YADAV, A. K.; VARAPRASAD, J. Investigating the role of lean practices in enabling BIM adoption: Evidence from two Indian cases. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 141, n. 7, p. 05015006, 2015.

MANAVALAN, E.; JAYAKRISHNA, K. A review of Internet of Things (IoT) embedded sustainable supply chain for industry 4.0 requirements. **Computers & industrial engineering**, v. 127, p. 925-953, 2019.

MARINELLI, M. From Industry 4.0 to Construction 5.0: Exploring the Path towards Human–Robot Collaboration in Construction. **Systems**, v. 11, n. 3, p. 152, 2023.

MARINO, E.; BARBIERI, L.; COLACINO, B.; FLERI, A. K.; BRUNO, F. Anugmented Reality inspection tool to support workers in Industry 4.0 environments. **Computers in Industry**, v. 127, p. 103412, 2021.

MARQUES, G.; MIRANDA, N.; KUMAR BHOI, A.; GARCIA-ZAPIRAIN, B.; HAMRIOUI, S.; DE LA TORRE DÍEZ, I. Internet of things and enhanced living environments: measuring and mapping air quality using cyber-physical systems and mobile computing technologies. **Sensors**, v. 20, n. 3, p. 720, 2020.

MASKURIY, R.; SELAMAT, A.; MARESOVA, P.; KREJCAR, O.; DAVID, O. O. Industry 4.0 for the construction industry: Review of management perspective. **Economies**, v. 7, n. 3, p. 68, 2019.

MASKURIY, R.; SELAMAT, A.; MARESOVA, P.; KREJCAR, O.; DAVID, O. O. Industry 4.0 for the construction industry: Review of management perspective. **Economies**, v. 7, n. 3, p. 68, 2019.

MEIJER, C.; BROWN, A. Transaction banking in the cloud: Towards a new business model. **Journal of Payments Strategy & Systems**, v. 8, n. 2, p. 206-223, 2014.

MELO, R. R. S. Diretrizes para inspeção de segurança em canteiros de obra por meio de imageamento com Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT). 2017.

MENEGON, J.; DA SILVA FILHO, L. C. P. The impact of industry 4.0 concepts and technologies on different phases of construction project lifecycle: a literature review. **Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering**, v. 47, n. 3, p. 1293-1319, 2023.

MISHRA, M.; LOURENÇO, P. B.; RAMANA, G. V. Structural health monitoring of civil engineering structures by using the internet of things: A review. **Journal of Building Engineering**, v. 48, p. 103954, 2022.

MOKYR, J. Eurocentricity triumphant. **The American Historical Review**, v. 104, n. 4, p. 1241-1246, 1999.

MORAKANYANE, R.; GRACE, A. A.; O'REILLY, P. Conceptualizing digital transformation in business organizations: A systematic review of literature. 2017.

MOSLY, I. Applications and issues of unmanned aerial systems in the construction industry. **Safety**, v. 21, n. 23, p. 31, 2017.

MOUDGIL, V.; HEWAGE, K.; HUSSAIN, S. A.; SADIQ, R. Integration of IoT in building energy infrastructure: A critical review on challenges and solutions. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 174, p. 113121, 2023.

MURTAZOVA, K.; KHADISOV, V. Environmental risk management system in regional construction. **Reliability: Theory & Applications**, v. 17, n. SI 3 (66), p. 164-167, 2022.

MUSARAT, M. A.; ALALOUL, W. S.; IRFAN, M.; SREENIVASAN, P.; RABBANI, M. B. A. Health and safety improvement through Industrial Revolution 4.0: Malaysian construction industry case. **Sustainability**, v. 15, n. 1, p. 201, 2022.

MUSARAT, M. A.; HAMEED, N.; ALTAF, M.; ALALOUL, W. S.; AL SALAHEEN, M.; ALAWAG, A. M. Digital transformation of the construction industry: a review. In: **2021 International Conference on Decision Aid Sciences and Application (DASA)**. IEEE, 2021. p. 897-902.

MUSARAT, M.A.; SADIQ, A.; ALALOUL, W.S.; ABDUL WAHAB, M.M. A Systematic Review on Enhancement in Quality of Life through Digitalization in the Construction Industry. **Sustainability**, v. 15, n. 1, p. 202, 2022.

MUSARAT, M.A.; SADIQ, A.; ALALOUL, W.S.; ABDUL WAHAB, M.M. A Systematic Review on Enhancement in Quality of Life through Digitalization in the Construction Industry. **Sustainability**, v. 15, n. 1, p. 202, 2023.

MUTHALIF, M. Z. A.; SHOJAEI, D.; KHOSHELHAM, K. A review of augmented reality visualization methods for subsurface utilities. **Advanced Engineering Informatics**, v. 51, p. 101498, 2022.

MUTHUKRISHNAN, S.; RAMAKRISHNAN, S.; SANJAYAN, J. Technologies for improving buildability in 3D concrete printing. **Cement and Concrete Composites**, v. 122, p. 104144, 2021.

NABONI, R.; PAOLETTI, I. **Advanced customization in architectural design and construction**. Cham: Springer International Publishing, 2015.

NAWI, M. N. M.; TUFAIL, M. M. B.; SAIDIN, Z. H.; SHAKEEL, M.; MOHAMED, O. Challenges and Opportunity in Digital Transformation of Construction industry: A Role of Industry 4.0. **Central Asia and the Caucasus**, 22/5, 412-422, 2021.

NWANKPA, J. K.; ROUMANI, Y. IT capability and digital transformation: A firm performance perspective. 2016.

NWAOGU, J. M.; YANG, Y.; CHAN, A. P.; CHI, H. L. Application of drones in the architecture, engineering, and construction (AEC) industry. **Automation in Construction**, v. 150, p. 104827, 2023.

O Impacto e a Importância da Construção Civil no Brasil. **Sienge**, 2022. Disponível em: <<https://www.sienge.com.br/blog/construcao-civil-no-pais/#:~:text=O%20setor%20sofreu%20baixa%20durante,empregos%20em%20rela%C3%A7%C3%A3o%20a%202021.>>. Acesso em: 01 julho de 2023.

OESTERREICH, T. D.; SCHUIR, J.; TEUTEBERG, F. The emperor's new clothes or an enduring IT fashion? Analyzing the lifecycle of industry 4.0 through the lens of management fashion theory. **Sustainability**, v. 12, n. 21, p. 8828, 2020.

OESTERREICH, T. D.; TEUTEBERG, F. 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**, v. 83, p. 121-139, 2016.

OKE, A. E.; ALIU, J.; FADAMIRO, P. O.; AKANNI, P. O.; STEPHEN, S. S. Attaining digital transformation in construction: An appraisal of the awareness and usage of automation techniques. **Journal of Building Engineering**, v. 67, p. 105968, 2023.

OKE, A. E.; KINEBER, A. F.; ALBUKHARI, I.; OTHMAN, I.; KINGSLEY, C. Assessment of cloud computing success factors for sustainable construction industry: the case of Nigeria. **Buildings**, v. 11, n. 2, p. 36, 2021.

OLIVITO, R. S.; PORZIO, S.; SCURO, C.; CARNÌ, D. L.; LAMONACA, F. Inventory and monitoring of historical cultural heritage buildings on a territorial scale: a preliminary study of structural health monitoring based on the CARTIS approach. **Acta IMEKO**, v. 10, n. 1, p. 57-69, 2021.

ONSAFETY, 2023. Disponível em <<https://onsafety.com.br>>. Acesso em: 15 abril de 2023.

ORCAFASCIO, 2023. Disponível em <<https://orcafascio.com>>. Acesso em: 15 junho de 2023.

OSUNSANMI, T. O.; AIGBAVBOA, C.; OKE, A. Construction 4.0: the future of the construction industry in South Africa. **International Journal of Civil and Environmental Engineering**, v. 12, n. 3, p. 206-212, 2018.

PAJONK, A.; PRIETO, A.; BLUM, U.; KNAACK, U. Multi-material additive manufacturing in architecture and construction: A review. **Journal of Building Engineering**, v. 45, p. 103603, 2022.

PAJPACH, M.; HAFFNER, O.; KUČERA, E.; DRAHOŠ, P. Low-cost education kit for teaching basic skills for industry 4.0 using deep-learning in quality control tasks. **Electronics**, v. 11, n. 2, p. 230, 2022.

PAN, W.; ZHANG, Z. Benchmarking the Sustainability of Concrete and Steel Modular Construction for Buildings in Urban Development. **Sustainable Cities and Society**, p. 104400, 2023.

PARK, J.; KIM, K.; CHO, Y. Framework of automated construction-safety monitoring using cloud-enabled BIM and BLE mobile tracking sensors. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 143, n. 2, p. 05016019, 2017.

PATACA, C. A Internet das Coisas: Tipologias, Protocolos e Aplicações. **Law, State and Telecommunications Review**, v. 13, n. 2, p. 198-220, 2021.

PAZ, A. C. M.; LOOS, M. J. A importância da computação em nuvem para a indústria 4.0. **Revista Gestão Industrial**, v. 16, n. 2, 2020.

PIB varia -0,2% no quarto trimestre e fecha 2022 em 2,9%. IBGE, 2023. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/36372-pib-varia-0-2-no-quarto-trimestre-e-fecha-2022-em-2-9>>. Acesso em: 03 de julho de 2023.

PINTO, G. O.; DE PAULA BASTOS, I.; DE BRITO MELLO, L. C. B.; DA SILVA, E. N.; MAGALHÃES, R. M. Estratégias para aplicação do BIM e Lean Construction nos canteiros de obras: um estudo de caso no estado

do Rio de Janeiro Strategies for the application of BIM and Lean Construction in construction sites: a case study in the state of Rio de Janeiro. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 10, p. 101263-101288, 2021.

PISHDAD-BOZORGI, P.; GAO, X.; EASTMAN, C.; SELF, A. P. Planning and developing facility management-enabled building information model (FM-enabled BIM). **Automation in construction**, v. 87, p. 22-38, 2018.

PORTUGAL, M. A. **Como Gerenciar Projetos de Construção Civil**. Brasport, 2016.

QI, Q.; XU, Z.; RANI, P. Big data analytics challenges to implementing the intelligent Industrial Internet of Things (IIoT) systems in sustainable manufacturing operations. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 190, p. 122401, 2023.

QIAN, L.; DURAIRAJ, S.; PRINS, S.; CHEN, A. Nanomaterial-based electrochemical sensors and biosensors for the detection of pharmaceutical compounds. **Biosensors and Bioelectronics**, v. 175, p. 112836, 2021.

QUQA, S.; LANDI, L.; DIOTALLEVI, P. P. Automatic identification of dense damage-sensitive features in civil infrastructure using sparse sensor networks. **Automation in Construction**, v. 128, p. 103740, 2021.

RAMLY, M. K. A.; MOHAMAD, M. F.; NOOR, S. N. A. M. Building information modelling (BIM) as ‘disruptive technology’: An insights of construction service provider. In: **AIP Conference Proceedings**. AIP Publishing, 2023.

RAO, A. S.; RADANOVIC, M.; LIU, Y.; HU, S.; FANG, Y.; KHOSHELHAM, K.; NGO, T. Real-time monitoring of construction sites: Sensors, methods, and applications. **Automation in Construction**, v. 136, p. 104099, 2022.

RAO, T. V. N.; GADDAM, A.; KURNI, M.; SARITHA, K. Reliance on artificial intelligence, machine learning and deep learning in the era of industry 4.0. **Smart healthcare system design: security and privacy aspects**, p. 281-299, 2022.

RAZA, M. H.; ZHONG, R. Y. A sustainable roadmap for additive manufacturing using geopolymers in construction industry. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 186, p. 106592, 2022.

ROSSI, A.; VILA, Y.; LUSIANI, F.; BARSOTTI, L.; SANI, L.; CECCARELLI, P.; LANZETTA, M. Embedded smart sensor device in construction site machinery. **Computers in Industry**, v. 108, p. 12-20, 2019.

RUGGIERO, A.; SALVO, S.; LAURENT, C. Robotics in construction. **Worcester Polytechnic Institute**, 2016.

SALDAMLI, G.; RAZAVI, A. Surveillance missions deployment on the edge by combining swarm robotics and blockchain. In: **2020 Fourth International Conference on Multimedia Computing, Networking and Applications (MCNA)**. IEEE, 2020. p. 106-112.

SAWHNEY, A.; RILEY, M.; IRIZARRY, J.; PÉREZ, C. T. A proposed framework for Construction 4.0 based on a review of literature. **EPiC Series in Built Environment**, v. 1, p. 301-309, 2020.

SCHMIDT, R.; MÖHRING, M.; HÄRTING, R. C., REICHSTEIN, C., NEUMAIER, P.; JOZINOVIĆ, P. Industry 4.0-potentials for creating smart products: empirical research results. In: **Business Information Systems: 18th International Conference, BIS 2015, Poznań, Poland, June 24-26, 2015, Proceedings 18**. Springer International Publishing, 2015. p. 16-27.

SCHUH, G., POTENTE, T., WESCH-POTENTE, C.; HAUPTVOGEL, A. 10.6 Sustainable increase of overhead productivity due to cyber-physical-systems. 2013.

SCHÜTZE, A.; HELWIG, N.; SCHNEIDER, T. Sensors 4.0—smart sensors and measurement technology enable Industry 4.0. **Journal of Sensors and Sensor systems**, v. 7, n. 1, p. 359-371, 2018.

SEBOK, A.; NYSTAD, E.; DROIVOLDSMO, A. Improving safety and human performance in maintenance and outage planning through virtual reality-based training systems. In: **Proceedings of the IEEE 7th Conference on Human Factors and Power Plants**. IEEE, 2002. p. 8-8.

SEIXAS, R. D. M.; MAUÉS, L. M. F.; ROSA, C. C. N.; OLIVEIRA, F. D. A. Building Information Modeling (BIM) para gestão da segurança do trabalho em obras de habitações populares. **Ambiente Construído**, v. 22, p. 235-254, 2022.

SHAFEI, H.; RADZI, A. R.; ALGAHTANY, M.; RAHMAN, R.A. Construction 4.0 Technologies and Decision-Making: A Systematic Review and Gap Analysis. **Buildings**, v. 12, n. 12, p. 2206, 2022.

SHAHI, C.; SINHA, M. Digital transformation: challenges faced by organizations and their potential solutions. **International Journal of Innovation Science**, v. 13, n. 1, p. 17-33, 2020.

SILVA, A. D. de; SIMÃO, A. dos S.; MENEZES, C. A. G. **Impactos da Indústria 4.0 na Construção Civil brasileira**. In: Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia – XV SEGeT. 2018.

SILVA, E. L. **Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação**. 4ed. Florianópolis: Atual, 2005.

SILVA, F. R.; SOARES, J. A.; SERPA, M. da S.; MAITINO NETO, R.; ALEIXO JUNIOR, J. F. M.; OLIVEIRA, H. S. de.; PICHETTI, R. F. (2020). *Cloud Computing*. Sagah, 2020.

SIMÃO, A. dos S.; ALCOFORADO, L. F.; LONGO, O. C., SANTOS, D. A. dos; SANTOS, F. dos; SILVA, A. D.; MENEZES, C. A. G.; JÚNIOR, J. C. M. Impactos da indústria 4.0 na construção civil brasileira. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 10, p. 20130-20145, 2019.

SINGH, M.; GOYAT, R.; PANWAR, R.. Fundamental pillars for industry 4.0 development: implementation framework and challenges in manufacturing environment. **The TQM Journal**, 2023.

Sistema de Contas Nacionais Trimestrais. IBGE, 2023. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contas-nacionais/9300-contas-nacionais-trimestrais.html?=&t=resultados>>. Acesso em: 01 julho de 2023.

SOMMER, M.; STJEPANDIĆ, J. Machine learning in manufacturing in the era of industry 4.0. **DigiTwin: An Approach for Production Process Optimization in a Built Environment**, p. 79-102, 2022.

SOUZA, B. F. A.; ALENCAR, L. H. Adoção de Soluções Digitais: Proposta Para Implementação Em Uma Construtora de Pequeno Porte no Interior De Pernambuco. **XLIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. Fortaleza, Ceará, 2023. DOI: 10.14488/enegep2023_tn_st_399_1955_45652

ŠTEFANIČ, M.; STANKOVSKI, V. A review of technologies and applications for smart construction. In: **Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Civil Engineering**. Thomas Telford Ltd, 2018. p. 83-87.

STOJANOVSKA-GEORGIEVSKA, L.; SANDEVA, I.; KRLESKI, A.; SPASEVSKA, H.; GINOVSKA, M.; PANCHEVSKI, I., IVANOV, R; ARNAL, I. P; CEROVSEK, P.; FUNTIK, T. BIM in the center of digital transformation of the construction sector—The status of BIM adoption in North Macedonia. **Buildings**, v. 12, n. 2, p. 218, 2022.

SUBRAMANIAN, M. The Role of International Collaboration in Digital Services and Tax Compliance in India. **Taxation in the Digital Economy**, p. 150-165, 2022.

TAKVA, Ç.; İLERISOY, Z. Y. Flying Robot Technology (Drone) Trends: A Review in the Building and Construction Industry. **Architecture, Civil Engineering, Environment**, v. 16, n. 1, p. 47-68.

TALMAKI, S. A.; KAMAT, V. R. Sensor Acquisition and Allocation for Real-Time Monitoring of Articulated Construction Equipment in Digital Twins. **Sensors**, v. 22, n. 19, p. 7635, 2022.

TAN, L.; KONG, T. L.; ZHANG, Z.; METWALLY, A.S.M.; SHARMA, S.; SHARMA, K.P.; ELDIN, S.M.; ZIMON, D. Scheduling and Controlling Production in an Internet of Things Environment for Industry 4.0: An Analysis and Systematic Review of Scientific Metrological Data. **Sustainability**, v. 15, n. 9, p. 7600, 2023.

TANG, S.; SHELDEN, D. R.; EASTMAN, C. M.; PISHDAD-BOZORGI, P.; GAO, X. A review of building information modeling (BIM) and the internet of things (IoT) devices integration: Present status and future trends. **Automation in Construction**, v. 101, p. 127 - 139, 2019.

TEDESCO JOVANOVIČS, C.; CHAHDAN MOUNZER, E. Contribution of BIM in the projects compatibility of different specialties encompass by civil construction. **Dyna**, v. 89, n. 223, p. 46-55, 2022.

TEIZER, Jochen *et al.* Internet of Things (IoT) for integrating environmental and localization data in Building Information Modeling (BIM). In: **ISARC. Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction**. IAARC Publications, 2017.

TEIZER, J.; CHENG, T. Proximity hazard indicator for workers-on-foot near miss interactions with construction equipment and geo-referenced hazard areas. **Automation in construction**, v. 60, p. 58-73, 2015.

TERROSO-SAENZ, F.; GONZÁLEZ-VIDAL, A.; RAMALLO-GONZÁLEZ, A. P.; SKARMETA, A. F. An open IoT platform for the management and analysis of energy data. **Future Generation Computer Systems**, v. 92, p. 1066 - 1079, 2019.

Transformação digital é prioridade para a construção brasileira. **Autodoc**, 2020. Disponível em: <https://constructioncloud.autodesk.com/rs/572-JSV-775/images/Autodesk-IDC-Digital%20Transformation_The-Future-of-Connected-Construction.pdf>. Acessado em 10 de maio de 2023.

TRIVIÑOS, A. N. S. Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação. **A pesquisa**, p. 133, 1987.

ULLAH, K.; LILL, I.; WITT, E. An overview of BIM adoption in the construction industry: Benefits and barriers. In: **10th Nordic conference on construction economics and organization**. Emerald Publishing Limited, 2019. p. 297-303.

VERAS, M. Cloud Computing. **Nova Arquitetura da TI**, v. 3, 2012.

VERGANTI, R.; VENDRAMINELLI, L.; IANSITI, M. Innovation and design in the age of artificial intelligence. **Journal of Product Innovation Management**, v. 37, n. 3, p. 212-227, 2020.

VERHOEF, P. C.; BROEKHUIZEN, T.; BART, Y.; BHATTACHARYA, A.; DONG, J. Q.; FABIAN, N.; HAENLEIN, M. Digital transformation: A multidisciplinary reflection and research agenda. **Journal of business research**, v. 122, p. 889-901, 2021.

VIAL, G. Understanding digital transformation: A review and a research agenda. **The journal of strategic information systems**, v. 28, n. 2, p. 118-144, 2019.

VIEIRA, B. A.; NOGUEIRA, L. Construção civil: crescimento versus custos de produção civil. **Sistemas & Gestão**, v. 13, n. 3, p. 366-377, 2018.

WANG, J.; MOHAMED, Y.; HAN, S.; LI, X.; AL-HUSSEIN, M. 3D ergonomics-based motion-level productivity analysis for intelligent manufacturing in industrialized construction. **Canadian Journal of Civil Engineering**, v. 50, n. 3, p. 197-209, 2022.

WANG, K.; GUO, F.; ZHANG, C.; SCHAEFER, D. From Industry 4.0 to Construction 4.0: Barriers to the digital transformation of engineering and construction sectors. **Engineering, Construction and Architectural Management**, n. ahead-of-print, 2022.

WANG, S. X.; WANG, Y.; LU, Y. B.; LI, J. Y.; SONG, Y. J.; NYAMGERELT, M.; WANG, X. X. Diagnosis and treatment of novel coronavirus pneumonia based on the theory of traditional Chinese medicine. **Journal of integrative medicine**, v. 18, n. 4, p. 275-283, 2020.

WANG, T.; CHEN, H. Integration of building information modeling and project management in construction project life cycle. **Automation in Construction**, v. 150, p. 104832, 2023.

WANG, X. Exploring an innovative collaborative design space through mixed reality boundaries. In: **2007 11th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design**. IEEE, 2007. p. 264-269.

WANGLER, T.; LLORET, E.; REITER, L.; HACK, N.; GRAMAZIO, F.; KOHLER, M.; FLATT, R. Digital concrete: opportunities and challenges. **RILEM Technical Letters**, v. 1, p. 67-75, 2016.

WEBER, M. **Ciência e Política**: Duas vocações. trad. Marco Antônio Casanova. São Paulo: Martin Claret, 2015

WEF. Shaping the future of construction - a breakthrough in mindset and technology. **World Economic Forum**, Geneva, Switzerland. 2016. Disponível em: <<https://www.weforum.org/reports/shaping-the-future-of-construction-a-breakthrough-in-mindset-and-technology>>. Acesso em: 16 abril de 2023.

WEYER, S.; SCHMITT, M.; OHMER, M.; GORECKY, D. Towards Industry 4.0-Standardization as the crucial challenge for highly modular, multi-vendor production systems. **Ifac-Papersonline**, v. 48, n. 3, p. 579-584, 2015.

WHITLOCK, K.; ABANDA, F.H.; MANJIA, M.B.; PETTANG, C.; NKENG, G.E. 4D BIM for Construction Logistics Management. **CivilEng**, v. 2, n. 2, p. 325-348, 2021.

WIJAYASEKERA, S. C.; HUSSAIN, S. A.; PAUDEL, A.; PAUDEL, B.; STEEN, J.; SADIQ, R.; HEWAGE, K. Data analytics and artificial intelligence in the complex environment of megaprojects: Implications for practitioners and project organizing theory. **Project Management Journal**, v. 53, n. 5, p. 485-500, 2022.

WU, L.; YUE, X.; JIN, A.; YEN, D. C. Smart supply chain management: a review and implications for future research. **The international journal of logistics management**, v. 27, n. 2, p. 395-417, 2016.

WUNI, I. Y.; SHEN, G. Q. Exploring the critical success determinants for supply chain management in modular integrated construction projects. **Smart and Sustainable Built Environment**, v. 12, n. 2, p. 258-276, 2023.

XIAO, B.; CHEN, C.; YIN, X. Recent advancements of robotics in construction. **Automation in Construction**, v. 144, p. 104591, 2022.

XU, L. D.; XU, E. L.; LI, L. Industry 4.0: state of the art and future trends. **International journal of production research**, v. 56, n. 8, p. 2941-2962, 2018.

YAO, Y.; YAN, M.; BAO, Y. Measurement of cable forces for automated monitoring of engineering structures using fiber optic sensors: A review. **Automation in Construction**, v. 126, p. 103687, 2021.

YI, W.; SUTRISNA, M. Drone scheduling for construction site surveillance. **Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering**, v. 36, n. 1, p. 3-13, 2021.

YIN, R. **Case Study Research: design and methods**. 5 ed. Thousand Oaks, CA: Sage, 2014.

YOON, S. J.; LIN, H. K.; CHEN, G.; YI, S.; CHOI, J.; RUI, Z. Effect of occupational health and safety management system on work-related accident rate and differences of occupational health and safety management

system awareness between managers in South Korea's construction industry. **Safety and health at work**, v. 4, n. 4, p. 201-209, 2013.

YUAN, P. F.; CHEN, Z.; ZHANG, L. Form finding for 3d printed pedestrian bridges. In: **23rd CAADRIA Conference, Beijing**. 2018. p. 17-19.

ZAIDAN, A. A.; Z Aidan, B. B.; QAHTAN, M. Y.; ALBAHRI, O. S.; ALBAHRI, A. S.; ALAA, M.; JUMAAH, F. M.; TALAL, M.; TAN, K. L.; SHIR, W. L.; LIM, C. K. A survey on communication components for IoT-based technologies in smart homes. **Telecommunication Systems**, v. 69, p. 1-25, 2018.

ZHANG, H.; CHI, S.; YANG, J.; NEPAL, M.; MOON, S. Development of a safety inspection framework on construction sites using mobile computing. **Journal of Management in Engineering**, v. 33, n. 3, p. 04016048, 2017.

ZHANG, M.; XU, R.; WU, H.; PAN, J.; LUO, X. Human-robot collaboration for on-site construction. **Automation in Construction**, v. 150, p. 104812, 2023.

ZHANG, N.; YE, J.; ZHONG, Y.; CHEN, Z. Digital Transformation in the Chinese Construction industry: Status, Barriers, and Impact. **Buildings**, v. 13, n. 4, p. 1092, 2023.

ZHOU, C.; LUO, H.; FANG, W.; WEI, R.; DING, L. Cyber-physical-system-based safety monitoring for blind hoisting with the internet of things: A case study. **Automation in construction**, v. 97, p. 138-150, 2019.

ZHOU, S.; DENG, F.; YU, L.; LI, B.; WU, X.; YIN, B. A novel passive wireless sensor for concrete humidity monitoring. **Sensors**, v. 16, n. 9, p. 1535, 2016.

ZURITA, G.; BALOIAN, N.; BAYTELMAN, F. A collaborative face-to-face design support system based on sketching and gesturing. **Advanced Engineering Informatics**, v. 22, n. 3, p. 340-349, 2008.